Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Ledebur, Adolf,

Handbuch der Eisenhüttenkunde für den Gebrauch im Betriebe wie zur Benutzung beim Unterrichte bearbeitet

Bd.: 2

1899

BHS I C 271-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb12027561-6

BHS I C 271-2

Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke Aktiengesellschaft
Bibliothek:
Gruppe: I l
B Nr. 271



HANDBUCH

DER

EISENHÜTTENKUNDE.

FÜR DEN GEBRAUCH IM BETRIEBE WIE ZUR BENUTZUNG
BEIM UNTERRICHTE BEARBEITET.

VON

A. LEDEBUR,

OBERBERGRATH UND PROFESSOR AN DER K. BERGAKADEMIE ZU FREIBERG IN SACHSEN.

DRITTE, NEU BEARBEITETE AUFLAGE.

ZWEITE ABTHEILUNG:

DAS ROHEISEN UND SEINE DARSTELLUNG.

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN.

BIBLIOTHEK
DER K.B.GENERAL.
BERGW.U.SALINEN
ADMINISTR.

LEIPZIG,
VERLAG VON ARTHUR FELIX.
1899.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Inhaltsverzeichniss.

Zweite Abtheilung.

Das Roheisen und seine Darstellung.

Seite

I. Eigenschaften und Eintheilung des Roheisens und der Eisenmangane . 361
1. Begriffserklärung. Eintheilung 361
2. Die Eigenschaften des Roheisens 362
a) Innere Anordnung 362. b) Specifisches Gewicht 364. c) Schmelztemperatur 364. d) Härte 366. e) Die Festigkeitseigenschaften 367.
3. Das graue Roheisen und das Siliciumeisen 370
4. Das weisse Roheisen und das Eisenmangan 379
Litteratur . 384

II. Der Hochofen . 385
1. Geschichtliches 385
2. Die innere Form des Hochofens 388
Die verschiedenen Hochofenformen und ihr Einfluss auf den Hochofenschmelzgang 388. Der Rauminhalt der Hochöfen 396. Die innern Abmessungen der Hochöfen 398.
3. Der Bau der Hochöfen 402
Alte Hochöfen mit Rauhgemäuer und eingebautem Gestell 402. Hochöfen mit Rauhgemäuer und freistehendem Gestell 405. Hochöfen mit Blechmantel 407. Hochöfen mit freistehendem Schachte 409. Die Anordnung der einzelnen Theile des Hochofens 411. Die Kühlungen 418. Die Gichtbühne 425.
4. Die Vorrichtungen zur Entziehung, Reinigung, Fortleitung und Verbrennung der Gichtgase 426
Allgemeines. Geschichtliches 426. Die Gasfänge 429. Die Leitungsrohre und Reinigungsvorrichtungen 440. Die Verbrennungsvorrichtungen und die Esse 446.
Litteratur . 448

III. Die Erzeugung, Erhitzung und Fortleitung des Gebläsewindes . . . 450
1. Die Gebläse . 450
Allgemeines 450. Die üblichsten Gebläseformen 453.
2. Die Regulatoren 458
3. Die Winderhitzer 459
Geschichtliches. Eintheilung 459. Die eisernen Winderhitzer 460. Die steinernen Winderhitzer 464. Die Whitwell-Winderhitzer und ihre Abarten 467. Die Cowper-Winderhitzer und ihre Abarten 471. Die Verschlüsse der steinernen Winderhitzer 474.
4. Die Windleitung und Windvertheilung 478
5. Spannungs- und Temperaturmessungen. Windberechnung 484
Litteratur . 493

IV. Die Gichtaufzüge 494
a) Gichtaufzüge mit unmittelbarer Seilbewegung 491. b) Wassertonnenaufzüge 497. c) Wasserdruckaufzüge 499. d) Luftdruckaufzüge 500.
Litteratur . 502

V. Die Vorrichtungen zur Anfuhr und Lagerung der Schmelzmaterialien 502

Seite

VI. Das Hochofenschmelzen . 504

1. Die Arbeiten beim Hochofen 504
 a) Das Austrocknen, Auswärmen und Anblasen 504. b) Die Arbeiten während des gewöhnlichen Betriebes 509. c) Arbeiten im Ofeninnern; Beseitigung von Gichtschwamm und Versetzungen 516. d) Das Dämpfen und Ausblasen der Hochöfen 518.
2. Der chemische und physikalische Verlauf des Hochofenschmelzens . 519
 a) Die allgemeinen Vorgänge im Hochofen 519. b) Einfluss der Windpressung und Windmenge 540. c) Einfluss der Winderhitzung auf die Vorgänge im Hochofen 542. d) Gaargang und Rohgang 546.
3. Der Betrieb mit verschiedenen Brennstoffen 552
4. Der Betrieb auf verschiedene Roheisengattungen und die Berechnung der Beschickung . 555
 a) Allgemeines 555. b) Die Entstehungsbedingungen der wichtigsten Roheisengattungen 556. c) Die Berechnung der Beschickung 567.
5. Die Berechnung des Hochofenschmelzganges und die Wärmebilanz . 583
6. Die Betriebsergebnisse . 593
 Litteratur . 603

VII. Die Nebenerzeugnisse des Hochofenbetriebes und ihre Verwendung . 607

1. Die Gichtgase . 607
2. Die Schlacken . 608
3. Gichtschwamm . 618
4. Blei . 619
5. Gichtstaub . 619
6. Zufällige Nebenerzeugnisse 621
 Litteratur . 622

VIII. Das Umschmelzen und die Reinigung des Roheisens 623

1. Das Umschmelzen . 623
 a) Allgemeines 623. b) Das Schmelzen in Tiegeln 625. c) Das Schmelzen in Flammöfen 632. d) Das Schmelzen in Kupolöfen 636.
2. Die Reinigung des Roheisens 654
 a) Allgemeines 654. b) Die Ausscheidung des Siliciums und Mangans 654. c) Die Entphosphorung des Roheisens 656. d) Die Entschwefelung des Roheisens 659.
 Litteratur . 662

ZWEITE ABTHEILUNG.

DAS ROHEISEN

UND

SEINE DARSTELLUNG.

I. Eigenschaften und Eintheilung des Roheisens und der Eisenmangane.

1. Begriffserklärung. Eintheilung.

Roheisen heisst jedes noch nicht zu Gebrauchsgegenständen verarbeitete Eisen, welches wegen eines grösseren Gehalts an Metalloiden, insbesondere an Kohlenstoff oder Silicium, die dem reinen Eisen eigenthümliche Dehnbarkeit und Schmiedbarkeit verloren hat. Sind neben Kohlenstoff keine anderen Körper in erheblichen Mengen zugegen, so liegt die Grenze zwischen Roheisen und schmiedbarem Eisen bei einem Kohlenstoffgehalte von etwa 2,6 v. H. Andere Metalloide (Silicium, Phosphor, Schwefel, Arsen u. a. m.) beeinträchtigen die Schmiedbarkeit theils kräftiger, theils weniger kräftig als Kohlenstoff; in jedem Falle aber hört sie schon bei einem niedrigeren Kohlenstoffgehalte als 2,6 v. H. auf, wenn solche Körper neben dem Kohlenstoff im Eisen anwesend sind.

Mit Hülfe derselben Verfahren und Vorrichtungen, welche zur Darstellung des Roheisens im engeren Sinne bestimmt sind, stellt der Eisenhüttenmann für gewisse Zwecke des Eisenhüttenbetriebes auch kohlenstoffhaltige Legirungen zwischen Eisen und Mangan dar, welche bei geringerem Mangangehalte zwar dem Roheisen zugezählt zu werden pflegen, bei höherem Mangangehalte aber Eisenmangane oder Ferromangane genannt werden, und deren Mangangehalt nicht selten höher ist als ihr Eisengehalt; ferner kohlenstoffhaltiges Siliciumeisen,[1]) welches seiner Zusammensetzung und seinen Eigenschaften gemäss ebenfalls dem Roheisen im weiteren Sinne beigezählt werden muss; ausnahmsweise auch wohl Legirungen mit Chrom und anderen Körpern.

Ist das Roheisen durch Eingiessen in Formen zu Gebrauchsgegenständen (Gusswaaren) verarbeitet, so wird es Gusseisen genannt. Die Bezeichnung als solches beruht demnach allein auf der Art und Weise der stattgehabten Verarbeitung, ohne dass eine Aenderung der chemischen Zusammensetzung oder der Eigenschaften dadurch bedingt ist. Gusseisen, welches durch Abnutzung oder aus anderen Gründen unbrauchbar geworden ist, pflegt Brucheisen genannt zu werden; in Wirklichkeit ist es nichts anderes als Roheisen, und es wird wie dieses verwendet, sei es zur Herstellung von Gusswaaren durch erneutes Umschmelzen und Giessen, sei es als Material zur Darstellung schmiedbaren Eisens.

1) Im Handel häufig Ferrosilicium genannt. Der Ausdruck ist sprachlich unrichtig, da nicht das Silicium, sondern das Eisen den Hauptbestandtheil bildet, welcher der Menge nach vorwiegt und zugleich dem Erzeugnisse seine metallische Eigenart verleiht.

Die Eintheilung des gesammten Roheisens kann von verschiedenen Gesichtspunkten aus geschehen.

Man kann graues Roheisen, welchem seiner Zusammensetzung gemäss auch das Siliciumeisen beizuzählen ist, dem weissen Roheisen nebst den Eisenmanganen gegenüberstellen. Nach der Art des für die Herstellung verwendeten Brennstoffs, welcher besonders beim grauen Roheisen gewisse Verschiedenheiten hervorruft, lässt sich Holzkohlenroheisen und Koksroheisen (richtiger: Roheisen, welches mit mineralischen Brennstoffen erzeugt ist) unterscheiden. Endlich kann man auch nach der beabsichtigten Verwendung des Roheisens Giessereiroheisen (zur Darstellung von Gusswaaren bestimmt) und Frischereiroheisen sondern, obgleich der Unterschied nicht sehr scharf ist. Viele Roheisenarten lassen sich für beide Zwecke benutzen, für den einen freilich meistens besser als für den anderen.

In Folgendem soll von der zuerst erwähnten Eintheilung ausgegangen werden. Eine ganz deutliche Grenze lässt sich jedoch auch zwischen grauem und weissem Roheisen nicht ziehen. Ueberblickt man sämmtliche, unten näher gekennzeichnete Roheisenarten, so wird man finden, dass sie eine Kette bilden, als deren Endglieder das manganarme Siliciumeisen auf der einen Seite und das siliciumarme Eisenmangan auf der anderen Seite zu betrachten sind. Die Uebergänge aber finden allmählich statt, nicht allein zwischen den einzelnen Arten der beiden Gruppen, sondern auch zwischen diesen selbst. Als kennzeichnendes Merkmal des grauen Roheisens pflegt man seinen Graphitgehalt zu betrachten, dessen Entstehungsursachen auf Seite 294 besprochen wurden. Graphitreiches Roheisen besitzt eine vollständig graue Bruchfläche; sie wird heller, wenn der Graphitgehalt abnimmt, und schliesslich erblickt man nur einzelne Graphitblätter verstreut auf weisser Bruchfläche. Die Analyse aber weist bisweilen noch einen geringen Graphitgehalt nach, wo das Auge ihn nicht mehr zu erkennen vermochte. Andrerseits gewahrt man nicht selten deutliche Graphitausscheidung auf der Bruchfläche solchen Roheisens, welches als weisses Roheisen in den Handel gebracht wird, im Wesentlichen auch die Eigenschaften und Merkmale des weissen Roheisens besitzt, aber bei seiner Entstehung zufälligen Einwirkungen preisgegeben war, welche eine mässige Graphitbildung veranlassten.

Auf die Unterschiede, welche aus der Verschiedenheit des für die Darstellung des Roheisens benutzten Brennstoffs sich ergeben oder durch die abweichende Bestimmung des Roheisens bedingt sind, soll bei Besprechung der Gattungen und Arten hingewiesen werden.

2. Die Eigenschaften des Roheisens.

a) Innere Anordnung.

Das Roheisen ist eine aus Eisen, Kohlenstoff und daneben gewöhnlich noch anderen Körpern bestehende Legirung und wie zahlreiche andere Legirungen beim Erstarren der Saigerung unterworfen (Seite 269). Das erkaltete Roheisen besteht daher niemals aus einer einzigen gleichartigen Masse, sondern aus verschiedenen, neben einander

abgelagerten Körpern von abweichenden Eigenschaften. Wird das Roheisen wieder bis zum Schmelzen erhitzt, so gehen jene Bestandtheile in gegenseitige Lösung über, aus welcher sie beim abermaligen Erstarren sich wieder sondern. Die Art und Weise der Sonderung und die Zusammensetzung der gesonderten Theile hängt theils von der Zusammensetzung des Roheisens, theils von den Erstarrungsverhältnissen ab. Je rascher die Erstarrung von statten geht, desto geringer ist im Allgemeinen das Maass der stattfindenden Saigerung. Aber auch nach beendigter Erstarrung pflegt noch ein Zerfallen einzelner Körper stattzufinden; insbesondere bildet sich das Karbid und sondert sich von der Hauptmasse (Seite 299).

Ein und dasselbe Roheisen kann demnach verschiedene Eigenschaften besitzen, je nachdem es rascher oder langsamer abgekühlt wurde.

Besonders deutlich zeigen sich die Folgen jener Vorgänge beim grauen Roheisen. Die für das Wesen des grauen Roheisens eigenthümliche Graphitbildung ist ein durch die Anwesenheit einer ausreichenden Menge Silicium veranlasstes Zerfallen der Eisenkohlenstofflegirung beim Erstarren (Seite 294); im bereits erstarrten Eisen findet noch Karbidbildung statt, sofern nicht etwa der Kohlenstoff schon vorher vollständig als Graphit ausgeschieden worden war.[1]) In allem grauen Roheisen sind daher auf der geschliffenen und schwach geätzten Bruchfläche mindestens drei Hauptbestandtheile mit dem Mikroskope erkennbar: der Graphit, schwarzgrau von Farbe, die geschliffene Bruchfläche kreuz und quer in Linien durchsetzend, während er die rohe (nicht geschliffene) Bruchfläche bei grossem Gehalte vollständig bedecken kann; ein krystallinisch-körniger Bestandtheil, aus kohlenstoffarmem oder kohlenstofffreiem Eisen bestehend (Ferrit) und die Graphitadern umgebend; das Karbid Fe_3C, entweder als Cementit frei ausgebildet oder mit Ferrit zu Perlit vereinigt. Enthält das Metall Härtungskohle (bei geringem Siliciumgehalt oder bei rascher Abkühlung), so kann als vierter Bestandtheil Martensit zugegen sein; ist das Eisen reich an Phosphor, so ist, am weitesten von den Graphitblättern entfernt, mitunter ein fünfter harter Bestandtheil beobachtet worden, den man für eine Anhäufung phosphorreichen Metalls zu halten pflegt.

Im weissen Roheisen fehlt der Graphit; man gewahrt Cementit, Martensit, Perlit.[2])

Ausser diesen, das Wesen des Roheisens bedingenden Bestandtheilen finden sich zufällig entstandene Saigerungserzeugnisse in den meisten Roheisenarten. Sie treten auf in Form von Kügelchen oder Nieren in Hohlräumen, welche beim Erstarren sich gebildet hatten, und in welche jene Ausscheidungen eingetreten waren; oder auf der Ober-

1) Der letztere Fall kommt nur bei sehr siliciumreichem Eisen, eigentlichem Siliciumeisen, vor.

2) Die bis jetzt angestellten Untersuchungen über das Kleingefüge des Roheisens sind ziemlich spärlich im Vergleiche zu denen über das Gefüge des Flusseisens. Die obigen Angaben sind theils einer Abhandlung Sorbys im Journal of the Iron and Steel Institute 1887, p. 259 und 277, theils einer schriftlichen Mittheilung Osmonds an den Verfasser entnommen. Ueber ältere, diesen Gegenstand betreffende Untersuchungen Martens' vergleiche Litteratur; über die Bedeutung der Ausdrücke Ferrit, Cementit, Martensit, Perlit Seite 308.

fläche als Blattern oder Wanzen (Seite 324); oder in noch anderen Formen. Die meisten dieser Aussaigerungen sind schwefel- oder phosphorreicher als das Muttereisen, dem sie entstammen; auch ihr Mangangehalt ist nicht selten beträchtlicher.[1])

Der Umstand, dass die Geschwindigkeit der Abkühlung des flüssigen Roheisens sowohl auf die Entstehung der neben einander sich ablagernden Körper von Einfluss ist, welche zusammen das erkaltete Roheisen bilden, als auch auf den Vorgang der Saigerung im Allgemeinen, erklärt es, dass dickere Roheisenstücke in der Mitte, wo die Abkühlung langsamer von statten ging, oft eine wesentlich andere Zusammensetzung zeigen, als am Rande. Bei grauem Roheisen nimmt der Graphitgehalt nach der Mitte hin zu, und in besonders deutlicher Weise zeigt sich der Unterschied beim Hartguss (Seite 297); der Gesammtkohlenstoff dagegen pflegt in der Mitte geringer als am Rande zu sein. Nicht selten ist der Unterschied in dem Gesammtkohlenstoffgehalte recht erheblich. So z. B. enthielt eine von mir untersuchte Massel tiefgrauen Roheisens aus Bilbao

	Gesammtkohlenstoff	Silicium	Mangan	Phosphor	Schwefel
Am Rande .	3,97	3,65	1,58	0,02	0,03
In der Mitte .	3,41	3,68	1,32	0,01	0,02

und gleich grosse Unterschiede zeigen die bereits auf Seite 297 mitgetheilten Beispiele der chemischen Zusammensetzung von Gusseisen an verschiedenen Stellen desselben Gegenstandes.

In den erwähnten Fällen lässt nur der Kohlenstoffgehalt deutliche Abweichungen erkennen; mitunter lassen sich jedoch auch in dem Gehalte an den übrigen Bestandtheilen Unterschiede wahrnehmen. Phosphorreiches Roheisen (Thomasroheisen) besitzt häufig am Rande einen höheren Phosphorgehalt als in der Mitte;[2]) auch der Mangan- und Siliciumgehalt ist nicht immer gleich.

Der Umstand verdient besonders bei Entnahme von Proben für Untersuchung des Roheisens oder von Gusswaaren Beachtung.

b) Specifisches Gewicht.

Bei der Graphitbildung dehnt sich das Roheisen aus, daher ist graues Roheisen durchschnittlich leichter als weisses, und mit zunehmendem Graphitgehalte nimmt sein specifisches Gewicht ab. Während sehr graphitreiches Roheisen oft kein grösseres specifisches Gewicht als 7,0 besitzt, steigt dieses im graphitärmeren, aber noch deutlich grauen Roheisen auf etwa 7,2 und beim weissen Roheisen auf 7,6.

c) Schmelztemperatur.

Während der Gehalt des Roheisens an Fremdkörpern zunimmt, sinkt im Allgemeinen dessen Schmelztemperatur. Der Einfluss einzelner dieser Körper, des Kohlenstoffs, Siliciums, Phosphors u. a., auf die

1) Analysen einzelner solcher Ausscheidungen sind bereits auf Seite 324 mitgetheilt; vergleiche ferner Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgiesserei, 2. Auflage, Weimar 1892, Seite 33, 35, 36; Ledebur, Das Roheisen, 3. Auflage, Leipzig 1891, Seite 10, und die unten gegebenen Litteraturnachweise.

2) Beispiele: „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 22.

Schmelztemperatur wurde schon in der ersten Abtheilung der Eisenhüttenkunde besprochen. Von den verschiedenen Kohlenstoffformen aber vermögen nur die Härtungskohle und Karbidkohle erniedrigend auf die Schmelztemperatur zu wirken; erstere ist bereits im erkalteten Eisen gelöst, letztere geht während des Erwärmens, bei etwa 700° C., also weit unterhalb der Schmelztemperatur, in Lösung. Graphit dagegen wird erst wieder gelöst, wenn das Eisen selbst, aus dem er ausgeschieden war, zu schmelzen beginnt. Je mehr Graphit aber beim vorausgegangenen Erstarren gebildet worden war, desto kohlenstoffärmer ist das neben dem Graphit zurückgebliebene Eisen, desto höher liegt seine Schmelztemperatur. Aus diesem Grunde besitzt graues Roheisen durchschnittlich eine höhere Schmelztemperatur als weisses. Schon früher fand Pouillet[1]) die Schmelztemperatur des Weisseisens bei 1050 bis 1100°, des Graueisens bei 1100 bis 1200°; neuere Untersuchungen mit Hülfe des Le Chatelier-Pyrometers bestätigten im Wesentlichen diese Beobachtungen, z. B.

	C	Si	Mn	P	
Weisseisen mit	4,10	0,22	0,12	0,02,	Schmelztemperatur nach Osmond[2]) = 1085° C.,
Weisseisen mit	3,85	0,29	0,15	0,02,	Schmelztemperatur nach Royston[3]) = 1065° C.,
Weisseisen, dasselbe					Erstarrungstemperatur nach Royston = 1030° C.,

Weisseisen, Zusammensetzung nicht angegeben, Schmelztemperatur nach Le Chatelier[4]) = 1135° C.,
Graueisen, Zusammensetzung nicht angegeben, Schmelztemperatur nach Le Chatelier[4]) = 1220° C.

Im Mittel kann man demnach die Schmelztemperatur des Weisseisens zu 1100° C., des Graueisens zu 1200° C. annehmen, aber die besondere chemische Zusammensetzung ist in jedem einzelnen Falle maassgebend. Ein Vergleich der Versuchsergebnisse Osmonds und Roystons bestätigt die schon auf Seite 309 angedeutete Beobachtung, dass bei Zunahme des Kohlenstoffgehalts, ehe der Sättigungsgrad des Eisens für Kohlenstoff vollständig erreicht ist, eine Grenze eintritt, wo die Schmelztemperatur nicht mehr ab-, sondern zunimmt; wie es scheint, liegt diese Grenze bei etwa 3,5 v. H. Kohlenstoff oder noch etwas darunter.[5]) Ein mässiger Siliciumgehalt erniedrigt die Schmelztemperatur, aber der Einfluss ist nicht erheblich; auch ein Mangangehalt von weniger als 10 v. H. wirkt den Beobachtungen im Betriebe zufolge eher erniedrigend als erhöhend auf die Schmelztemperatur, und nach den auf

1) Comptes rendus t. 3, p. 789.

2) F. Osmond, Transformations du fer et du carbone, Paris 1888, p. 24 et 28.

3) Journal of the Iron and Steel Institute 1897 I, p. 167; „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 629.

4) Comptes rendus t. 140, p. 471.

5) Auch der mehrfach erwähnte und durch die auf Seite 364 mitgetheilte Zusammensetzung eines Bilbaoer Roheisens erwiesene Umstand, dass die rascher erkaltenden Theile eines grösseren Roheisenstücks reicher an Kohlenstoff zu sein pflegen als die langsamer erkaltenden, deutet hierauf. An den langsamer erkaltenden Stellen sammeln sich die leichter schmelzbaren Verbindungen.

Seite 327 mitgetheilten Versuchsergebnissen Osmonds wird sie selbst durch einen Mangangehalt von 20 v. H. noch nicht erheblich gesteigert. Erst bei fernerer Zunahme des Mangangehalts wird eine langsame Steigerung der Schmelztemperatur bemerkbar, aber ein kohlenstoffhaltiges Eisenmangan mit 50 v. H. Mangan bedarf zum Schmelzen immerhin noch einer weniger hohen Temperatur (1154° C. nach Osmond) als graues graphitreiches Roheisen.

Da die Graphitbildung mittelbar eine Erhöhung der Schmelztemperatur veranlasst, indem sie den Gehalt an gelöst bleibendem Kohlenstoff schmälert, das Maass dieser Graphitbildung aber nicht allein von der chemischen Zusammensetzung des Roheisens, sondern auch von den Abkühlungsverhältnissen abhängt, folgt, dass das nämliche Roheisen auch verschiedene Schmelztemperaturen besitzen kann, je nachdem es rascher oder langsamer abgekühlt wurde. Rasch abgekühltes und dadurch graphitärmer gewordenes Roheisen schmilzt leichter ein als langsam abgekühltes, graphitreicheres.[1])

Bei der Verwendung des Roheisens für die Giesserei spielt auch der Flüssigkeitsgrad im geschmolzenen Zustande — die Dünnflüssigkeit — eine Rolle. Silicium, Mangan und vor allem Phosphor machen das Roheisen dünnflüssig; Schwefel erzeugt schon in kleinen Mengen einen dickflüssigen Zustand.[2])

d) Härte.

Von den auf Seite 308 genannten Gefügebestandtheilen des Roheisens ist der Graphit weich, mürbe; das kohlenstofffreie körnige Eisen (der Ferrit) verhältnissmässig weich; das Karbid (der Cementit) hart; der Perlit (Gemenge von Ferrit und Cementit) um so härter, je mehr der Cementit vorwiegt; der Martensit (Eisen mit Härtungskohle) um so härter, je höher sein Kohlenstoffgehalt ist.

Im grauen Roheisen wiegt neben dem Graphit der Ferrit vor; im weissen Roheisen verschwinden beide Bestandtheile ganz oder fast ganz und werden durch die härteren Bestandtheile ersetzt.

Daher ist graues Roheisen verhältnissmässig weich und lässt sich mit schneidenden Werkzeugen — Feile, Meissel, Dreh- oder Hobelstahl — ohne Schwierigkeit bearbeiten. Je mehr sein Graphitgehalt abnimmt, desto härter wird es; weisses Roheisen pflegt, wenn sein Gesammtkohlenstoffgehalt nicht über 3 v. H. beträgt, noch durch sehr harten Stahl angegriffen zu werden, widersteht aber vollständig bei höherem Kohlenstoffgehalte.

1) Dieser aus Beobachtungen im Betriebe längst bekannte Einfluss der vorausgegangenen Abkühlung auf die Schmelztemperatur des Roheisens wurde durch Versuche Wests in anschaulicher Weise nachgewiesen. Er goss Stäbe zur einen Hälfte in eisernen Formen, welche rasche Abkühlung bewirkten, zur anderen Hälfte in Sandformen, also mit langsamer Abkühlung. Beim Einbringen in geschmolzenes und überhitztes Roheisen schmolz der rasch abgekühlte Theil der Stäbe regelmässig früher weg, als der langsam abgekühlte (The Iron Trade Review, vol. 30, p. 30; „Stahl und Eisen" 1898, Seite 214). Vergl. auch „Stahl und Eisen" 1899, Seite 18.

2) Versuche über den Einfluss des Schwefels: „Stahl und Eisen" 1886, Seite 311, Spalte 2; von Kerpely, Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, Seite 65. Auch die Beobachtung im Giessereibetriebe lässt nicht selten diesen Einfluss erkennen.

Rasche Abkühlung erhöht, zumal beim grauen Roheisen, den Härtegrad (Anwendung beim Hartguss), anhaltendes Ausglühen, wobei aus der Karbid- und Härtungskohle Temperkohle entsteht (Seite 300), verringert sie. Selbst Weisseisen lässt sich durch dieses Mittel in einen bearbeitungsfähigen Zustand versetzen.

Mangan und Chrom erhöhen die Härte des Roheisens, theils unmittelbar, theils durch Verhinderung der Graphitbildung. Silicium vermag nur bei sehr reichlichem Gehalte eine merkbare Härtesteigerung hervorzurufen; in den geringeren Mengen, welche im gewöhnlichen Graueisen auftreten, hat seine Anwesenheit den entgegengesetzten Erfolg, indem der Kohlenstoffgehalt dadurch zur Graphitbildung veranlasst wird.

Phosphor in den Gewichtsmengen, welche im Roheisen vorkommen können, ist ohne bemerkbaren Einfluss. Ebenso Schwefel.

e) Die Festigkeitseigenschaften.

Als Festigkeitseigenschaften kommen theils die eigentliche Festigkeit, d. h. die Widerstandsfähigkeit gegenüber ruhiger Belastung (Zug, Druck u. s. w.), theils die Widerstandsfähigkeit gegen Stösse und Erschütterungen in Betracht, welche letztere man als Zähigkeit — im Gegensatze zur Sprödigkeit — zu bezeichnen pflegt. Erstere wird durch den unmittelbaren Versuch ermittelt; als Maassstab für die Zähigkeit benutzt man entweder die bei der Prüfung auf Festigkeit eintretenden Formveränderungen[1]) oder unmittelbare Schlagversuche.

In jedem Falle ist diese Zähigkeit beim Roheisen ziemlich unbedeutend; es ist ein sprödes Material. Dennoch lassen sich deutliche Unterschiede bei verschiedenen Arten wahrnehmen, und dieser Umstand verdient Beachtung bei der Benutzung des Roheisens für Gusswaarenerzeugung.

Sonstige Festigkeitseigenschaften: Elasticitätsmodul, Elasticitätsgrenze u. a. können hier, da sie beim Roheisen geringere Bedeutung besitzen und geringeren Schwankungen unterliegen als beim schmiedbaren Eisen, ausser Betracht bleiben.[2])

Die Festigkeitseigenschaften sind theils von der Beschaffenheit des Gefüges, theils von der chemischen Zusammensetzung abhängig.

Je grösser die Absonderungsflächen des Gefüges sind, d. h. je grobkörniger oder grossblättriger dieses ist, desto leichter findet Trennung statt, desto weniger fest und zugleich weniger zäh ist das Eisen. Feinkörniges Eisen pflegt sich daher bei der Beanspruchung auf Festigkeit am günstigsten zu verhalten.

Ein geringer Gehalt an Härtungskohle erhöht nach Früherem die Festigkeit, ein grösserer Gehalt verringert sie, und in starkem Maasse wird die Sprödigkeit durch einen grösseren Gehalt an Härtungskohle gesteigert. Daher ist graues Roheisen durchschnittlich fester und weniger

1) Je stärker die eintretende Formveränderung ist, desto mehr mechanische Arbeit wird dabei verbraucht, desto geringer ist die Gefahr für den Bruch.

2) Einiges Nähere hierüber enthalten die von mir bearbeiteten Werke: Eisen und Stahl in ihrer Anwendung für bauliche und gewerbliche Zwecke, Berlin 1890, Seite 23; Das Roheisen, 3. Auflage, Leipzig 1891, Seite 48; Handbuch der Eisen- und Stahlgiesserei, 2. Auflage, Weimar 1892, Seite 52.

spröde als weisses; der Unterschied würde noch beträchtlicher sein, wenn nicht der Graphitgehalt des grauen Roheisens, indem er den Zusammenhang der festen Eisenmasse unterbricht, die Festigkeit und Zähigkeit abminderte. Sehr graphitreiches Roheisen ist daher niemals sehr fest. Gusseisensorten, welche sich durch ein günstiges Verhalten bei der Beanspruchung auf Festigkeit und Stossfestigkeit auszeichnen, pflegen nicht mehr als 3 v. H. Graphit bei 3,5 v. H. Gesammtkohlenstoff und nicht weniger als 2 v. H. Graphit bei 2,6 v. H. Gesammtkohlenstoff zu enthalten, so dass ihr Gehalt an Härtungs- und Karbidkohle zusammen 0,4 bis 0,7 v. H. beträgt.

Ein mässiger Siliciumgehalt ist nothwendig, um Graphitbildung zu veranlassen; ein sehr hoher Siliciumgehalt wirkt um so nachtheiliger auf die Festigkeit und Zähigkeit ein, je mehr Kohlenstoff neben dem Silicium zugegen ist. Ein durch Festigkeit und ein geringes Maass von Sprödigkeit ausgezeichnetes Gusseisen pflegt nicht mehr als 3 und nicht weniger als 1 v. H. Silicium zu enthalten.

Mangan in kleineren Mengen als 1,5 v. H. vermag zwar in geringem Maasse die Festigkeit zu erhöhen, aber auf Kosten der Zähigkeit; ein höherer Mangangehalt wirkt auf beide Eigenschaften nachtheilig.

Phosphor verringert, sofern sein Gehalt ein ziemlich niedriges Maass überschreitet, merklich die Festigkeit und in noch weit stärkerem Maasse die Zähigkeit. Das Eisen wird spröde. Je mehr Härtungskohle das Eisen enthält, desto stärker ist das Maass dieses Einflusses; in graphitreicherem Eisen tritt daher der Einfluss weniger deutlich als in graphitärmerem zu Tage. Auch ein Mangangehalt erhöht den Einfluss des Phosphors. Graues Roheisen aber, welches zur Gusswaarendarstellung bestimmt ist, pflegt nur einen ziemlich geringen Gehalt an Härtungskohle zu besitzen (Beispiele 1 und 2 auf Seite 303); ausserdem darf man überhaupt an das Verhalten des Gusseisens bei der Beanspruchung auf Festigkeit und insbesondere auf Widerstandsfähigkeit gegen Erschütterungen bei Weitem nicht jene Ansprüche stellen, wie an das Verhalten des schmiedbaren Eisens. Hierdurch erklärt es sich zum grossen Theil, dass Gusseisen erheblich mehr Phosphor als letzteres enthalten kann, ohne unbrauchbar zu werden. Man findet Gusseisensorten mit einem Phosphorgehalte von 1,5 v. H. oder noch etwas darüber; sie sind zwar spröder als phosphorärmeres Gusseisen, lassen sich aber für gewöhnliche Zwecke, wo jene grössere Sprödigkeit weniger von Belang ist, ohne Nachtheil benutzen. Soll das Gusseisen dagegen baulichen Zwecken dienen, wobei ein allzu sprödes Material gefahrbringend sein würde, so pflegt man 1 v. H. Phosphor als den höchsten zulässigen Gehalt zu betrachten, und bei übrigens gleicher Zusammensetzung besitzt das Gusseisen im Allgemeinen um so grössere Festigkeit und insbesondere Widerstandsfähigkeit gegen Erschütterungen, je niedriger sein Phosphorgehalt ist.

Alle übrigen zufälligen Begleiter des Eisens — Schwefel, Arsen, Antimon, Kupfer, Titan u. a. m. — können zwar in geringen Mengen mitunter die Festigkeit bei ruhiger Belastung etwas steigern, erhöhen aber auch stets die Sprödigkeit; wenn auch der Gehalt jedes einzelnen dieser Körper nur unbedeutend ist, so vermögen sie doch durch ihr

Zusammenwirken, wenn ihre Zahl entsprechend gross ist, nicht selten eine deutliche Einwirkung hervorzubringen. Man pflegt deshalb das von solchen Begleitern reinste Roheisen als das vorzüglichste bei der Beanspruchung auf Festigkeit zu betrachten, und hieraus erklärt sich das Uebergewicht, welches das mit Holzkohlen erblasene Roheisen für die in Rede stehenden Verwendungen vor dem mit mineralischen Kohlen erblasenen besitzt, sofern die sonstige Zusammensetzung, insbesondere der Gehalt an Kohlenstoff, Silicium, Mangan und Phosphor, nicht sehr verschieden ist. Holzkohlenroheisen erfolgt in niedrigerer Temperatur, in welcher weniger Gelegenheit zur Aufnahme jener Fremdkörper gegeben ist.

Auch der Verlauf der Abkühlung des erstarrenden Metalls ist von Einfluss auf seine Festigkeitseigenschaften. Je langsamer die Erstarrung sich vollzieht, desto grösser fallen die Absonderungsflächen des Gefüges aus, und desto reichlicher ist im grauen Roheisen die Graphitbildung. Daher pflegen insbesondere solche Eisensorten, welche zur starken Graphitbildung neigen, also reich an Silicium und Kohlenstoff sind, ungünstiger sich zu verhalten, wenn sie langsam als wenn sie rasch abgekühlt wurden. Gussstücke von beträchtlichen Abmessungen aus derartigem Eisen zeigen gewöhnlich eine geringere Festigkeit, da die Abkühlung langsam von statten ging. Umgekehrt wird siliciumarmes Eisen, welches wegen seines niedrigen Siliciumgehalts nur geringe Neigung zur Graphitbildung besitzt, bei allzu rascher Abkühlung leicht spröde und verliert an Festigkeit; sein Gehalt an Härtungskohle fällt zu beträchtlich aus. Hier kann eine künstlich verlangsamte Abkühlung oder auch ein späteres Ausglühen zur Verbesserung der Eigenschaften beitragen.

Als durchschnittliche Druckfestigkeit grauen, für die Giesserei benutzten Roheisens (Gusseisens) pflegt man 70 kg auf 1 qmm Querschnitt, als durchschnittliche Zugfestigkeit 12 kg, als durchschnittliche Biegungsfestigkeit quadratischer Stäbe 25 kg anzunehmen. Die Ziffern beziehen sich auf unbearbeitete Gussstücke; bearbeitete Gegenstände, deren äussere Kruste (Gusshaut) entfernt wurde, besitzen eine um etwa 10 v. H. höhere Festigkeit.[1]) Auch durch Einwirkung anhaltender Erschütterungen wird seltsamerweise die Festigkeit des Gusseisens um annähernd das gleiche Maass gesteigert, wie durch die mechanische Bearbeitung.[2])

Im Uebrigen zeigen die verschiedenen Prüfungsergebnisse oft erhebliche Abweichungen, welche theils durch die Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung, theils durch die Abkühlungsverhältnisse, theils auch durch die Grösse und die Querschnittsform der gewählten Proben bedingt sind. Längere Stäbe, auf Druckfestigkeit geprüft, besitzen ein niedrigeres Maass dieser Eigenschaft als kürzere; bei der Prüfung auf Biegungsfestigkeit aber können Unterschiede in der Querschnittsform des Probestücks erhebliche Abweichungen der Festigkeitsziffern bedingen. Bach fand bei dem gleichen Materiale, aber ver-

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1889, Seite 141; „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 603; Ledebur, Das Roheisen, 3. Auflage, Seite 54.

2) „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 435; 1898, Seite 212.

schiedenen Querschnittsformen, Schwankungen der Biegungsfestigkeit von 19,8 kg bis 32,2 kg auf 1 qmm.[1])

Unter ungünstigen Verhältnissen kann die Festigkeit auf weniger als die Hälfte der oben angegebenen Ziffern sinken, unter besonders günstigen Verhältnissen auf das doppelte Maass steigen.

Gering ist, wie erwähnt, in jedem Falle die Formveränderung, welche die beanspruchten Proben vor dem Bruche erleiden, und welche in gewissem Sinne als Maassstab für die Zähigkeit dienen kann. Bei der Beanspruchung durch Druck hat man Verkürzungen der Probestücken von 0,5 bis 16 v. H. der ursprünglichen Höhe, bei Zugversuchen Verlängerungen von 0,16 bis 0,45 v. H. der ursprünglichen Länge beobachtet,[2]) wobei jedoch auch das ursprüngliche Maass der betreffenden Abmessungen von Einfluss ist. Je beträchtlicher dieses ist, desto niedriger fallen jene Verhältnisszifern aus. Am deutlichsten zeigt sich eine Formveränderung bei Biegungsversuchen, sofern die Probestücke nicht allzu kurz sind. Quadratische unbearbeitete Stäbe von 30 mm Stärke, 1 m frei aufliegend und in der Mitte belastet, müssen vor dem Bruche eine gesammte Einbiegung von 15 bis 20 mm ertragen können; sehr sprödes Gusseisen erträgt geringere, zähes stärkere Einbiegungen (bisweilen bis 25 mm).

Ziemlich grosse Abweichungen zeigt auch das Verhalten des weissen Roheisens bei der Beanspruchung auf Festigkeit; durchschnittlich aber ist, wie schon erläutert wurde, seine Festigkeit geringer und seine Sprödigkeit bedeutend grösser als die des grauen Roheisens. Für die Herstellung gegossener Gebrauchsgegenstände (Gusswaaren) findet daher nur das letztere unmittelbare Verwendung.

3. Das graue Roheisen und das Siliciumeisen.

Allgemeine Zusammensetzung.

Alles unmittelbar aus Erzen gewonnene graue Roheisen enthält, wie oben erläutert wurde, als wesentliche Bestandtheile Eisen, Kohlenstoff und Silicium.[3]) Ein Siliciumgehalt ist nothwendig, weil ohne diesen keine Bildung von Graphit, dieses das Wesen des grauen Roheisens bedingenden Körpers, stattfindet; entzieht man dem grauen Roheisen seinen Siliciumgehalt (z. B. durch Schmelzen unter solchen Einflüssen, dass das Silicium, nicht aber der Kohlenstoff, verbrannt wird), so verwandelt es sich in weisses Roheisen. Der Vorgang (Feinen des Roheisens) findet mitunter Anwendung im Betriebe und ist am Schlusse dieser Abtheilung der Eisenhüttenkunde ausführlicher besprochen.

Der Siliciumgehalt des eigentlichen grauen Roheisens kann von 0,5 bis 5 v. H. schwanken und steigt im Siliciumeisen bis auf mehr als 16 v. H. Je weniger Mangan und je mehr Kohlenstoff neben dem

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1888, Seite 198; daraus Ledebur, Das Roheisen, Seite 58.

2) Ledebur, Das Roheisen, Seite 55 und 57.

3) Der Ausdruck „unmittelbar aus Erzen gewonnen" ist hier gewählt worden, weil sich durch Zusatz von Aluminium zu weissem Roheisen ebenfalls graues Roheisen erzeugen lässt, wie aus Früherem sich ergiebt. Das zugesetzte Aluminium vertritt in diesem Falle das Silicium (Seite 294).

Silicium zugegen ist, desto niedriger braucht der zur Graphitbildung erforderliche Siliciumgehalt zu sein. Eisen mit 3 v. H. Kohlenstoff neben 0,5 v. H. Silicium ist weiss, sofern es nicht etwa sehr langsam abgekühlt wurde; bei 4 v. H. Kohle neben dem gleichen Siliciumgehalte wie in jenem Falle wird, wenn nicht etwa Mangan in reichlicheren Mengen zugegen ist, gewöhnlich schon Graphitbildung bemerkbar, und der Graphitgehalt nimmt mit dem Siliciumgehalte zu. Deshalb kann das Roheisen bei nur 3 v. H. und selbst noch weniger Kohlenstoff schon Graphitbildung zeigen, wenn daneben 2 v. H. oder mehr Silicium anwesend ist.

Mangan erschwert die Graphitbildung und kann schon aus diesem Grunde nicht in sehr erheblichen Mengen anwesend sein. Da ein reichlicher Mangangehalt des grauen Roheisens dessen Brauchbarkeit für Gusswaarendarstellung verringert, indem er die Sprödigkeit erhöht, Neigung zur Gasentwickelung hervorruft, auch die Schwindung der Abgüsse beim Erkalten vergrössert, sucht man für Erzeugung von Giessereiroheisen Erze zu verwenden, deren Mangangehalt nicht beträchtlich ist. Gutes Giessereiroheisen enthält nicht über 1,5 v. H. Mangan, häufig weniger. Im Frischereiroheisen dagegen (insbesondere im Bessemerroheisen) findet man bisweilen bis 5 v. H. Mangan, neben mindestens 2,5 v. H. Silicium; häufiger allerdings verarbeitet man die Erze, welche einen derartigen hohen Mangangehalt in das Eisen zu führen geeignet sind, auf weisses Roheisen.

Der Phosphorgehalt des grauen Roheisens hängt von dem der benutzten Erze ab; sehr phosphorreiche Erze jedoch pflegt man nicht zur Graueisendarstellung, sondern zur Weisseisendarstellung zu benutzen, weil phosphorreiches Graueisen weniger gut als phosphorreiches Weisseisen Verwendung findet. Giessereiroheisen enthält bis 1,8 v. H. Phosphor (lothringer und luxemburger aus Minetten erzeugtes Giessereiroheisen; englisches Giessereiroheisen aus Middlesborough pflegt etwa 1,5 v. H., schottisches 0,7 bis 1,0 v. H. zu enthalten); je höher der Phosphorgehalt ist, desto niedriger muss der Mangangehalt sein, damit das Roheisen für Gusswaarenerzeugung brauchbar sei. Graues Frischereiroheisen für das Bessemerverfahren darf nicht mehr als etwa 0,1 v. H. Phosphor enthalten.

Schwefel findet sich durchschnittlich in grösseren Mengen im grauen Holzkohlenroheisen als im grauen Koksroheisen. Diese im ersten Augenblicke auffällige Erscheinung erhält ihre genügende Erklärung durch den Umstand, dass man bei Erzeugung des Koksroheisens in Rücksicht auf den Schwefelgehalt der Koks gezwungen und durch die in den Kokshochöfen herrschende höhere Temperatur auch befähigt ist, stärker basische, insbesondere kalkreichere Schlacken zu bilden, als beim Holzkohlenbetriebe, wo die hohe Schmelztemperatur dieser Schlacken ihre Anwendung unmöglich machen würde. Die kalkreicheren Schlacken aber nehmen den weit grösseren Schwefelgehalt der Beschickung der Kokshochöfen vollständiger auf, als die kalkärmeren den geringeren Schwefelgehalt in den Holzkohlenöfen (vergl. Seite 319). Selten steigt daher beim grauen Koksroheisen der Schwefelgehalt über 0,04 v. H.; im Holzkohlenroheisen findet man bisweilen 0,1 v. H. oder noch etwas darüber. Die früher (Seite 292 und 296) geschilderten Einflüsse des Schwefels

auf die Kohlenstoffaufnahme und Graphitbildung erschweren indess mit zunehmendem Schwefelgehalte die Entstehung von Graueisen immer mehr; statt des Graueisens entsteht Weisseisen, wenn der Schwefelgehalt erheblich über jenes Maass steigt.

Der Gehalt des grauen Roheisens an Kupfer, Nickel, Kobalt, Arsen, Antimon hängt von dem Gehalte der Erze an diesen Körpern ab und bewegt sich innerhalb der schon früher angegebenen Grenzen.

Dass manche schwer reducirbare Körper (Chrom, Titan, Vanadium) leichter bei dem Betriebe mit Koks als mit Holzkohlen aufgenommen werden, dass Holzkohlenroheisen aus diesem Grunde durchschnittlich reiner von Fremdkörpern und für gewisse Zwecke vortrefflicher sei, wurde schon oben erwähnt.

Da der grössere Siliciumgehalt des grauen Roheisens in chemischer Beziehung dessen Unterscheidungsmerkmal vom weissen Roheisen bildet, darf man das siliciumreichste Eisen, das eigentliche Siliciumeisen, als das oberste Glied in der Reihe der Arten des grauen Roheisens betrachten. Im Einklange hiermit steht der Umstand, dass im Handel das siliciumreichste Eisen am höchsten bezahlt wird; denn mit dem Siliciumgehalte, welchen das Roheisen bei seiner Erzeugung aufnimmt, wächst der erforderliche Brennstoffverbrauch und verringert sich die Erzeugungsfähigkeit des Schmelzofens, da die Reduction des Siliciums einen sehr erheblichen Wärmeverbrauch erheischt (Seite 54). Dem Auge freilich erscheint ein sehr siliciumreiches Eisen keineswegs als die vollkommenste Form eines grauen Roheisens im eigentlichen Sinne. Denn mit zunehmendem Siliciumgehalte nimmt der Kohlenstoffgehalt ab, und das Roheisen wird infolge davon graphitärmer, wenn der Siliciumgehalt erheblich über 3 v. H. hinausgeht (Seite 292). Mit abnehmendem Graphitgehalte aber muss die Farbe der Roheisenbruchfläche lichter werden und somit das äussere Merkmal des grauen Roheisens an Deutlichkeit einbüssen.

So lange man eigentliches Siliciumeisen nicht absichtlich darstellte und überhaupt die Bedeutung des Siliciums im grauen Roheisen nicht kannte — und diese Zeit liegt nicht sehr weit zurück — pflegte man bei der Eintheilung des grauen Roheisens, insbesondere des Koksroheisens, von der Anschauung auszugehen, dass das graphitreichste Roheisen allgemein das werthvollste sei, und dass als zuverlässiges Merkmal für die Höhe des Graphitgehalts die mehr oder minder grobkörnige Beschaffenheit der Bruchfläche dienen könne. Je grobkörniger die Bruchfläche war, für desto graphitreicher und deshalb werthvoller hielt man das Roheisen, desto höher bezahlte man es. Man gab daher dem Roheisen Nummern gemäss dem Aussehen seiner Bruchfläche und bezeichnete mit Nr. I das grobkörnigste und dem Ansehen nach graphitreichste, mit Nr. V das feinkörnigste, graphitärmste, dem weissen Roheisen am nächsten stehende. Noch jetzt ist diese Eintheilung im Handel üblich,[1]) obgleich jeder wissenschaftlich gebildete Eisen-

1) Eisenwerke, welche phosphorreiches Giessereiroheisen darstellen (lothringer, luxemburger, englische Werke), pflegen bei ihrer Eintheilung mit Nr. III zu beginnen und mit VII zu endigen. Durch die Eintheilung in Nummern will man allgemein eine Stufenleiter für die Preisverhältnisse schaffen; nun wird aber phosphorreiches Roheisen weniger hoch als phosphorärmeres bezahlt. Daher steht ein phosphor-

hüttenmann weiss, dass das Aussehen der Bruchfläche keineswegs geeignet ist, als zuverlässiges Merkmal für den eigentlichen Werth des grauen Roheisens zu dienen. Denn dieser Werth ist in erster Reihe durch seinen Siliciumgehalt, nicht durch seinen Graphitgehalt bedingt. Ein Roheisen mit 5 v. H. Silicium aber pflegt feineres Korn und hellere Farbe auf der Bruchfläche zu besitzen als solches mit 2 oder 3 v. H. und wird daher, wenn man lediglich das Aussehen der Bruchfläche als maassgebend für den Werth und den Verkaufspreis betrachtet, auch niedriger als dieses geschätzt; Roheisen mit 1 v. H. Silicium und 4 v. H. Kohlenstoff kann, wenn es im Schmelzofen stark überhitzt und dann langsam abgekühlt wurde, ein gleiches Bruchaussehen annehmen als solches mit 2,5 v. H. Silicium neben 3,5 v. H. Kohlenstoff und besitzt doch geringeren wirklichen Werth.[1]) Ein zuverlässiges Urtheil über den Werth eines grauen Roheisens kann man daher nur durch die chemische Untersuchung erlangen.

Die Hauptformen des Siliciumeisens und grauen Roheisens reihen sich demnach etwa folgendermaassen an einander.

Eigentliches Siliciumeisen.

Der Siliciumgehalt beträgt 5 bis 16 v. H.; der Kohlenstoffgehalt ist um so niedriger, je höher der Siliciumgehalt ist, und pflegt in den weniger siliciumreichen Sorten etwa 3 v. H., in den reichsten dagegen nicht mehr als 1 v. H., mitunter noch weniger, zu betragen. Er ist vollständig oder fast vollständig als Graphit zugegen. Der Mangangehalt ist von dem der Erze abhängig, aus welchen das Siliciumeisen erzeugt wurde, in dem eigentlichen Siliciumeisen, dessen Kohlenstoff graphitisch ausgeschieden ist, jedoch selten hoch. Manganreichere, für gewisse Zwecke dargestellte Legirungen werden bei Besprechung des weissen Roheisens Erwähnung finden. Da ein Phosphorgehalt den Werth des in seiner Herstellung kostspieligen Siliciumeisens abmindern würde, pflegt man nur phosphorarme Erze für die Darstellung zu benutzen.

Siliciumeisen mit 5 bis 10 v. H. Silicium besitzt lichtgraue Farbe, um so heller und mit einem um so deutlicheren Stiche in's Gelbliche, je höher der Siliciumgehalt ist. Bei mehr als 10 v. H. Silicium pflegt

reicheres Roheisen, welches seinem Silicium- und Graphitgehalte nach als Nr. I bezeichnet werden müsste, doch im Preise dem graphitärmeren Roheisen Nr. III mit geringerem Phosphorgehalte näher und wird demnach auch als Nr. III bezeichnet.

1) Wenn hier der Siliciumgehalt des grauen Roheisens als Werthmesser bezeichnet ist, würde doch die Schlussfolgerung irrig sein, dass für jede unmittelbare Verwendung des grauen Roheisens (zur Gusswaarendarstellung, zum Verfrischen) das siliciumreichste das geeignetste sei. Für Gusswaarenerzeugung würde z. B. in den meisten Fällen ein Material mit erheblich mehr als 2 v. H. Silicium nicht einmal gut brauchbar sein. Siliciumärmeres Roheisen aber ist verhältnissmässig billig zu beschaffen; bei jedem erneuerten Umschmelzen pflegt der Siliciumgehalt abzunehmen. Ist nun der Siliciumgehalt zu niedrig für die ins Auge gefasste Verwendung, so lässt sich ein solches Eisen nur brauchbar machen, indem man ihm siliciumreicheres zusetzt. Je höher der Siliciumgehalt des letzteren ist, desto geringer kann der zur Erreichung des Zweckes erforderliche Zusatz sein, aber desto höher beziffern sich nach Früherem seine Erzeugungskosten. Auf diesen Umständen beruht der grössere Werth des siliciumreicheren Roheisens.

der Graphitgehalt bereits so niedrig zu sein, dass zwischen den Graphitblättchen die gelblich-weisse Grundmasse deutlich erkennbar hervortritt, und in den siliciumreichsten Sorten sind die Graphitblätter nur in einzelnen Anhäufungen auf jener Grundmasse vertheilt.

Das Gefüge ist feinkörnig; in den Sorten mit 5 bis 10 v. H. Silicium mitunter schuppig, hier und da mit rundlich gewölbten, von Graphitblättern überdeckten Absonderungsflächen, wo eine stärkere Graphitanhäufung stattgefunden hatte. Je mehr der Siliciumgehalt steigt, desto feiner wird das Korn.

Das Siliciumeisen erfolgt nur in sehr hoher Temperatur des Schmelzofens und entströmt daher beim Abstiche mit blendend weisser Farbe. Alsdann pflegt es ruhig und ohne Funkensprühen zu erstarren. Als Brennstoffe zur Darstellung werden fast nur Koks benutzt.

Man verwendet das Siliciumeisen zur Sauerstoffentziehung bei der Flusseisenerzeugung oder zur Anreicherung des Siliciumgehalts ärmerer Roheisensorten bei anderen Verfahren, vornehmlich in der Giesserei.

Siliciumreiches graues Roheisen.

Siliciumgehalt 3,5 bis 5 v. H., Kohlenstoffgehalt 3,5 bis 2,5 v. H., grösstentheils als Graphit zugegen. Das Roheisen ist den ärmeren Sorten des eigentlichen Siliciumeisens ähnlich, um so weniger feinkörnig und um so dunkler, je mehr der Graphitgehalt zunimmt. Seinem Bruchaussehen nach lässt es sich leicht mit einem wegen niedrigen Siliciumgehalts verhältnissmässig graphitarmen Roheisen (Roheisen Nr. III oder IV nach der üblichen Eintheilung) verwechseln, und wo man nicht die chemische Untersuchung zu Hülfe nahm, ist es nicht selten schon als solches in den Handel gebracht worden. Die Erscheinungen beim Fliessen und Erstarren sind nicht wesentlich anders als beim eigentlichen Siliciumeisen. Die zweckmässigste Verwendung findet dieses Roheisen als Zusatz zu siliciumärmerem Roheisen, wo dessen Siliciumgehalt zur Erreichung eines bestimmten Zweckes nicht hoch genug ist (Giesserei, Bessemerverfahren).

Tiefgraues Roheisen.

Der Siliciumgehalt pflegt 2 bis 3,5 v. H., der Kohlenstoffgehalt 4 bis 3,5 v. H. zu betragen; jedoch kann auch Roheisen mit noch niedrigerem Siliciumgehalte (1,5 v. H.) die Merkmale des tiefgrauen Koksroheisens besitzen, wenn es arm an Mangan und reich an Kohlenstoff (4 bis 4,5 v. H.) ist. Unter allen Roheisensorten ist diese die graphitreichste. Der Graphitgehalt beträgt 3,2 bis 3,6 v. H., und die Graphitblättchen bedecken vollständig die Bruchfläche, wodurch diese ihr dunkelgraues Aussehen erhält. Das Gefüge ist ausgeprägt körnig; bei dem mit mineralischen Brennstoffen, insbesondere Koks, erblasenen Roheisen sehr grobkörnig, bei dem mit Holzkohlen erblasenen, welches im Hochofen weniger stark überhitzt wurde, auch zu dünneren Masseln gegossen zu werden pflegt und daher rascher abkühlt, feinkörniger. Häufig findet sich Gaarschaum (Seite 294) in beträchtlichen Anhäufungen auf der Oberfläche oder auch in Drusen. Das mit mineralischen Kohlen erzeugte, sehr grobkörnige Roheisen wird als Nr. I (phosphorreiches als Nr. III) in den Handel gebracht (Seite 372, Fussanmerkung); Holzkohlenroheisen

dieser Art pflegt als hochgaares, auch wohl todtgaares Roheisen bezeichnet zu werden.

Das tiefgraue Roheisen fliesst ebenfalls mit blendend weisser Farbe aus dem Schmelzofen, wirft dabei nicht selten Graphitblätter aus, welche die Gussrinne bedecken, und pflegt wegen dieser, während des Fliessens eintretenden Gaarschaumabsonderung ziemlich dickflüssig zu sein. Das Erstarren geht ruhig von statten. Es dient, wie die früher besprochenen Arten, vornehmlich als Zusatzmaterial zu siliciumärmerem Roheisen, um dessen Siliciumgehalt anzureichern.

Gewöhnliches graues Roheisen.

Der Siliciumgehalt geht selten über 2 v. H., der Kohlenstoffgehalt selten über 3,5 v. H. hinaus. Der Graphitgehalt beträgt im Mittel etwa 3 v. H. und ist demnach etwas geringer als bei dem zuvor beschriebenen tiefgrauen Roheisen, das Gefüge ist etwas feinkörniger, die Farbe weniger dunkel. Koksroheisen dieser Art wird entweder als Nr. II bezeichnet, oder, je nachdem es dem vorher besprochenen oder dem noch graphitärmeren Roheisen näher steht, als Nr. I oder III in den Handel gebracht. Holzkohlenroheisen pflegt als gaares Roheisen benannt zu werden. Die Gaarschaumbildung ist weniger stark als bei dem tiefgrauen Roheisen und verschwindet bei den weniger graphitreichen Arten ganz. Im geschmolzenen Zustande ist es dünnflüssiger als das vorige, verhält sich aber im Uebrigen diesem ähnlich. Für gewisse Zwecke der Giesserei (z. B. für Herstellung dünner, rasch erstarrender und deshalb leicht hart werdender Abgüsse) ist solches Roheisen ohne Weiteres gut brauchbar; ferner findet es, wenn seine sonstige Zusammensetzung (insbesondere sein Phosphorgehalt) dem Zwecke entspricht, häufige Anwendung für das Bessemerverfahren. Im Uebrigen dient es zum Umschmelzen (wobei der Silicium- und Graphitgehalt abnehmen) und als Zusatz zu siliciumärmerem Roheisen.

Lichtgraues Roheisen.

Der Siliciumgehalt pflegt 1 bis 1,5 v. H., der Gesammtkohlenstoffgehalt 3 bis 3,5 v. H., der Graphitgehalt etwa 2 v. H. oder wenig mehr zu betragen. Das Gefüge ist noch feinkörniger, die Farbe noch heller als bei der vorigen Art; bei den graphitärmeren Stücken dieser Art erblickt man bereits deutlich die weisse Grundmasse, das Metall, zwischen den Graphitblättern. In diesem Falle pflegt man das Roheisen, insbesondere das mit Holzkohlen erblasene, halbirtes Roheisen zu nennen, und man unterscheidet auch wohl schwach halbirtes (mit grösserem Graphitgehalte) und stark halbirtes (mit geringerem Graphitgehalte). Zeigt sich der Graphit auf der Bruchfläche nicht gleichmässig vertheilt, sondern in Form einzelner, wie schwarze Flecke aussehender Anhäufungen auf weissem Grunde, so wendet man in manchen Gegenden die Bezeichnung Forelleneisen dafür an. Koksroheisen dieser Art mit noch gleichmässig lichtgrauer Bruchfläche ohne erkennbare weisse Grundmasse wird als Nr. III, bei geringerem Graphitgehalte (mit erkennbarem weissen Grunde) als Nr. IV in den Handel gebracht (phosphorreiches als Nr. V und VI).

Dass sehr siliciumreiches und deshalb kohlenstoffarmes Roheisen mitunter mit dem hier in Rede stehenden verwechselt werde, ist oben erwähnt worden.

Das lichtgraue Roheisen pflegt in weniger hoher Temperatur als die vorher besprochenen Sorten zu erfolgen und zeigt in diesem Falle beim Austreten aus dem Schmelzofen weniger helle Farbe als jene. Beim Fliessen wirft es häufig Funken, aus Eisentheilchen bestehend, welche durch entweichendes Gas fortgeschleudert wurden und an der Luft verbrennen, dabei oft noch in mehrere Theile zerstiebend; die Zahl der Funken wächst mit abnehmendem Siliciumgehalte. Beim Stehen in einer offenen Form zeigt das geschmolzene Roheisen dieser Art lebhafte Bewegung und an der Oberfläche eigenthümliche Figurenbildungen (Spiel des Roheisens); nach dem Erstarren pflegt die Oberfläche mit Löchern bedeckt zu sein, welche um so grösser und tiefer sind, je siliciumärmer das Eisen ist.[1])

Man benutzt dieses Roheisen entweder für sich allein oder in Vermischung mit siliciumreicherem sowohl für die Giesserei als für verschiedene Frischverfahren.

Grelles oder halbweisses Roheisen.

(Koksroheisen Nr. V oder bei reichem Phosphorgehalte Nr. VII.) Silicium und Kohlenstoff sind in noch geringeren Mengen zugegen als im lichtgrauen Roheisen (Silicium gewöhnlich etwa 1 v. H., Kohlenstoff 2,5 bis 3 v. H.), der Graphitgehalt ist gering. Die Graphitblätter sind auf der weissen dichten Grundmasse zerstreut, und das Roheisen erhält dadurch einige Aehnlichkeit mit dem eigentlichen Siliciumeisen, von welchem es sich jedoch durch seine weniger gelbliche, mehr grauweisse Farbe und das abweichende Aussehen seines Gefüges unterscheidet. Eine genaue Beschreibung dieser Unterschiede zu geben, ist kaum möglich; ein Vergleich zweier Probestücke beider Roheisenarten lässt die Unterschiede ohne Schwierigkeit erkennen.

Dieses Roheisen bildet den Uebergang vom Graueisen zum Weisseisen, dem es seinem Aussehen nach oft näher steht als ersterem. Es ist meistens ein in Folge von Störungen des regelmässigen Schmelzganges unbeabsichtigt entstandenes Erzeugniss des Hochofens. Es ist dickflüssig und beim Fliessen oft mit einem förmlichen Funkenregen überdeckt. Jene beim lichtgrauen Roheisen an der frei erstarrenden Oberfläche sich bildenden Löcher treten beim grellen Roheisen in noch verstärktem Maasse auf; mitunter auch bläht sich unter der Einwirkung entweichender Gase die Oberfläche auf, und es entstehen zwiebelartige Auswüchse. Häufig ist das Eisen schwefelreich, da in der niedrigeren Entstehungstemperatur der Schwefel weniger vollständig als bei den früher besprochenen Roheisenarten von der Schlacke aufgenommen zu werden pflegt.

1) Näheres über diese Erscheinungen und deren Ursachen: Ledebur, Das Roheisen, 3. Auflage, Seite 37; auch Dürre, Handbuch des Eisengiessereibetriebes, 3. Auflage, Band I, Seite 129.

Beispiele der Zusammensetzung verschiedener Sorten grauen Roheisens.

	Silicium	Gesammter Kohlenstoff	Graphit	Mangan	Phosphor	Schwefel	Kupfer
a) Mit mineralischen Brennstoffen erzeugt.							
Siliciumeisen von Hörde, von mir untersucht	16,31	0,80	0,80	1,22	0,18	n. best.	n. best.
Siliciumeisen von Königshütte, von mir untersucht	11,29	1,59	1,59	2,08	0,08	0,02	"
Siliciumreiches Roheisen von Friedenshütte, nach Jüngst[1]) . .	5,32	2,46	2,25	2,52	0,48	0,01	"
Siliciumreiches englisches Roheisen, als Nr. III in den Handel gebracht, von mir untersucht .	4,37	2,74	2,64	0,71	n. best.	n. best.	"
Siliciumreiches westfälisches Roheisen, ebenfalls als Nr. III verkauft, nach Wachler[2]) . .	3,50	3,42	3,27	0,79	0,96	0,01	0,04
Schottisches Roheisen (Coltness) Nr. I, tiefgrau, nach Wachler[2])	3,50	3,50	3,30	1,58	0,98	0,02	0,10
Dasselbe Roheisen wie vorstehend, von einem anderen Abstiche, von mir untersucht	2,77	3,78	3,33	1,31	0,80	0,02	0,09
Schottisches Roheisen (Coltness) Nr. III, grau, von mir untersucht	2,16	2,82	2,54	0,67	0,51	n. best.	0,08
Schottisches Roheisen (Langloan) Nr. I, tiefgrau, nach Wachler	2,93	3,86	3,40	1,62	0,75	0,04	0,07
Englisches Roheisen von Middlesborough, als Nr. III in den Handel gebracht,[3]) nach Wachler	2,52	3,52	3,39	0,68	1,49	0,05	0,04
Roheisen von Terre-Noire Nr. I, tiefgrau, nach Kerpely[4]) . .	2,25	4,15	3,25	1,25	0,05	0,02	n. best.
Ebendaher Nr. II, grau . . .	1,95	3,58	2,55	1,05	0,05	0,04	"
" " III, grau . . .	1,75	3,47	1,95	0,95	0,05	0,06	"
" " IV, lichtgrau . .	1,55	3,23	1,15	0,65	0,04	0,07	"
" " V, grell	1,45	3,02	0,85	0,58	0,05	0,08	"
(Mittheilung eines Lothringer Hochofenwerks.) Lothring. Giessereiroheisen Nr. III, grobkörnig, grau	2,71	3,82	3,30	0,59	1,78	n. best.	"
Dasselbe Nr. IV, grau . .	2,71	3,82	3,30	0,61	1,93	"	"
" " V, lichtgrau	2,86	3,71	3,40	0,56	1,89	"	"
" " VI, lichtgrau	1,87	3,76	3,10	0,51	1,85	"	"
" " VII, lichtgrau s. feinkörnig	2,29	3,76	3,10	0,59	1,86	"	"
Tiefgraues Bessemerroheisen von Georgs-Marienhütte (persönliche Mittheilung)	3,31	4,76	4,00	3,41	0,07	0,05	"
Graues Bessemerroheisen Nr. II, ebendaher	2,52	3,76	3,10	3,90	0,07	0,03	"

1) Schmelzversuche mit Ferrosilicium. Berlin 1890.

2) Vergleichende Qualitätsuntersuchungen rheinisch-westfälischen und ausländischen Giessereiroheisens. Berlin 1879.

3) Die Nummern der in der Gegend von Middlesborough erzeugten Roheisensorten Clarence, Newport, Claylane u. a., welche sämmtlich ähnlich zusammengesetzt sind und einen Phosphorgehalt von ungefähr 1,5 v. H. aufweisen, pflegen, wie oben erwähnt wurde, erst bei Nr. III zu beginnen (Seite 372, Fussanmerkung).

4) Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris 1878. Leipzig 1879.

	Silicium	Gesammter Kohlenstoff	Graphit	Mangan	Phosphor	Schwefel	Kupfer
Lichtgraues Bessemerroheisen (Nr. III) v. Georgs-Marienhütte	1,73	3,14	2,97	3,78	0,08	0,04	n. best.
Bessemerroheisen Nr. I von Schwechat, von mir untersucht	2,31	3,57	n. best.	3,74	0,07	0,03	„
b) Holzkohlenroheisen.							
Dunkelgraues Roheisen von Zorge am Harz, von mir untersucht	2,11	3,61	3,01	0,47	0,46	0,04	0,03
Stark halbirtes Roheisen ebendaher, von mir untersucht . .	0,87	3,38	n. best.	0,22	0,43	0,06	n. best.
Steirisches Roheisen, grau, von mir untersucht	1,35	3,78	3,07	2,52	0,03	0,05	0,11
Halbirtes Roheisen ebendaher, von mir untersucht[1])	1,79	3,01	2,26	2,33	0,03	0,04	0,05
Graues Giessereiroheisen von Ilsenburg (1875), von mir untersucht	2,20	3,50	2,97	0,41	0,51	0,07	0,05
Halbirtes ebendaher (1875), von mir untersucht	1,68	2,93	2,53	0,35	0,54	0,07	0,08
Stark halbirtes ebendaher (1874), von mir untersucht	1,02	3,19	2,40	0,28	0,59	0,09	0,10
Grelles ebendaher (1874), von mir untersucht	0,70	3,21	1,63	0,14	0,56	0,14	0,09
Graues Roheisen von Kallich in Böhmen (1861). Probestück in der Sammlung der Freiberger Bergakademie. Krystalldruse mit schön ausgebildeten Oktaëderkrystallen, welche mit Kieselsäure überzogen sind.[2]) Von mir untersucht							
a) Das Muttereisen . . .	1,85	3,11	n. best.	0,18	n. best.	0,04	0,17
b) Die Krystalle (nach Entfernung des Ueberzuges)	2,00	3,28	„	0,09	„	0,05	n. best.
Graues Roheisen von Plozko in Ungarn, für die Giesserei bestimmt, von mir untersucht .	1,45	3,81	3,19	1,69	0,37	0,01	—
Desgl. von Sulzau-Werfen, von mir untersucht	0,82	3,83	2,78	1,17	0,09	0,04	—
Desgl. von Szalocz, von mir untersucht	1,07	3,67	3,31	2,13	0,07	0,03	0,07
Desgl. von Krompach, von mir untersucht	1,48	3,50	2,35	2,44	0,12	0,05	0,34
Zum Weisswerden geneigtes Hartgusseisen, ebendaher, von mir untersucht	0,82	3,82	n. best.	2,85	0,11	0,005	0,15
Lichtgraues Roheisen von Rhónitz, nach Kerpely[3])	1,76	2,73	2,23	1,42	0,36	0,12	0,05

1) Ein Vergleich der beiden Sorten steirischen Roheisens ist lehrreich. Das siliciumreichere Roheisen ist, da es ärmer an Gesammtkohlenstoff ist als das andere, doch auch graphitärmer und deshalb heller.

2) Vergl. Seite 314.

3) Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, Seite 74—76.

	Silicium	Gesammter Kohlenstoff	Graphit	Mangan	Phosphor	Schwefel	Kupfer
Halbirtes Roheisen von Diósgyör, nach Kerpely[1]	2,54	2,52	1,78	2,88	0,15	0,04	0,32
Graues Roheisen von Pioneer Furnace (Nordamerika), nach Kupelwieser[2]	2,24	3,68	2,88	0,17	0,14	0,01	n. best.
Halbirtes schwedisches Gusseisen von Finspong, zum Kanonengusse benutzt; stark halbirte Bruchfläche. Probe aus der Sammlung der Freiberger Bergakademie. Von mir untersucht	0,63	2,70	2,26	0,32	Sp.	0,15	Sp.

4. Das weisse Roheisen und das Eisenmangan.

Allgemeine Zusammensetzung.

Während das graue Roheisen drei für seine Bildung nothwendige Körper, Eisen, Kohlenstoff und Silicium, enthält, sind für die Entstehung des weissen Roheisens nur Eisen und Kohlenstoff nothwendig.

Silicium kann als zufälliger Nebenbestandtheil in um so grösseren Mengen zugegen sein, je niedriger der Kohlenstoffgehalt und je höher der Mangangehalt ist. Steigt der Siliciumgehalt über das durch diese Verhältnisse bedingte Maass, so wird das Roheisen grau. Der Fall kommt nicht selten vor. Bleibt kohlenstoffreiches weisses Roheisen im hocherhitzten Zustande lange Zeit mit kieselsäurereichen Körpern in Berührung, so wird durch den Kohlenstoff Silicium reducirt, und das Eisen wird grau; besonders leicht tritt dieser Vorgang ein, wenn das Roheisen zugleich manganhaltig ist. Hier dient das Mangan als Reductionsmittel für Silicium (Seite 312); Mangan tritt aus, Silicium ein. In Giessereien benutzt man neuerdings in gewissen Fällen einen Zusatz von Siliciumeisen zu weissem Roheisen, um dieses in graues, für Gusswaarenerzeugung brauchbares Roheisen umzuwandeln.[3]) Im eigentlichen weissen Roheisen geht der Siliciumgehalt selten über 0,8 v. H. hinaus und ist meistens geringer.

Mangan befördert die Entstehung des weissen Roheisens, indem es die Graphitbildung erschwert. Daher verhüttet man manganreiche Erze in der Regel auf weisses Roheisen. Mit dem Mangangehalte pflegt auch der Kohlenstoffgehalt des weissen Roheisens zu steigen, und beide zusammen erreichen in den Eisenmanganen ihr höchstes Maass.

Phosphor findet sich in Mengen von weniger als 0,1 bis 3 v. H. und mitunter noch etwas darüber. Wie schon erwähnt worden ist, verhüttet man sehr phosphorreiche Erze vortheilhafter auf weisses als

1) Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, Seite 74—76.
2) Das Hüttenwesen, Bericht über die Weltausstellung in Philadelphia, Seite 68.
3) Vergl. C. Jüngst, Schmelzversuche mit Ferrosilicium. Berlin 1890. (Sonderabdruck aus der Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1890.)

auf graues Roheisen, da für ersteres sich leichter als für letzteres passende Verwendung findet; im (weissen) Thomasroheisen verlangt man sogar einen Phosphorgehalt von mindestens 2 v. H.

Schwefel ist in den manganärmeren Sorten Weisseisen in durchschnittlich reicherer Menge (0,05 bis 0,20) anwesend als im Graueisen, da jene Roheisensorten in niedrigerer Temperatur und, bei Benutzung von mineralischen Brennstoffen, auch mit weniger stark basischer Schlacke als letzteres erzeugt werden. Eine so kalkreiche Schlacke, wie bei Graueisendarstellung mit Koks gebildet zu werden pflegt, würde in der für Weisseisendarstellung erforderlichen niedrigeren Temperatur kaum schmelzen. Daher pflegt das mit mineralischen, schwefelhaltigen Brennstoffen erzeugte Weisseisen auch schwefelreicher als das Holzkohlenroheisen zu sein. Ist dagegen die Beschickung manganreich, so wird durch den Mangangehalt der Schwefel verschlackt (Seite 323), und das Roheisen fällt entsprechend schwefelarm aus.

Kupfer, Nickel, Antimon, Arsen finden sich in gleichen Mengen wie im Graueisen; schwer reducirbare Körper aber (z. B. Titan) werden in der niedrigeren Erzeugungstemperatur des weissen Roheisens weniger leicht aufgenommen; das Eisen ist reiner.[1])

Aus der Reihe der Arten des weissen Roheisens (einschliesslich der Eisenmangane) treten nachstehend beschriebene Formen als besonders eigenartig heraus.

Gewöhnliches Weisseisen.

Man nennt diese Form des weissen Roheisens auch Matteisen (da es matt, d. h. träge, fliesst) oder Treibeisen (da es beim Frischen rasch entkohlt wird). Es schliesst sich unmittelbar an das oben besprochene, beim Betriebe auf graues Roheisen entstehende grelle Roheisen an. Wie dieses besitzt es feinkörnige Bruchfläche, derjenigen eines durchgebrochenen frischen Käses ähnelnd; im Wesentlichen unterscheidet sich das Aussehen der Bruchfläche von der des grellen Roheisens nur durch das Fehlen des Graphits. In Roheisenstücken, welche der nächstbesprochenen Art näher stehen, findet sich hier oder da Andeutung eines strahlenartigen Gefüges. Die Farbe der Bruchfläche ist weiss mit einem schwachen Stiche ins Graue. Der Kohlenstoffgehalt dieses Roheisens geht selten erheblich über 3 v. H. hinaus; auch der Mangangehalt ist niedrig (0,1 bis 1 v. H.). Silicium kann sich in Mengen bis zu 0,8 v. H. finden, sofern der Kohlenstoffgehalt ausreichend niedrig ist, um die Anwesenheit des Siliciums zu ermöglichen, ohne dass Graphitbildung eintritt. Der Schwefelgehalt pflegt ziemlich hoch zu sein (0,10 bis 0,25 v. H.).

Das Roheisen wird zum Verfrischen und in Giessereien zur Darstellung schmiedbaren Gusses benutzt (in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde besprochen); für letztere Verwendung darf ein hoher

1) Die grössere Reinheit des Weisseisens von zufällig anwesenden Fremdkörpern erklärt die durch Versuche nachgewiesene Thatsache, dass man im Stande ist, durch Zusammenschmelzen von manganarmem Weisseisen mit einer entsprechenden Menge Siliciumeisen graues Roheisen von ausnahmsweise hoher Festigkeit, und deshalb für gewisse Zwecke der Giesserei besonders gut geeignet, zu bilden. Vergl. hierüber C. Jüngst, Schmelzversuche mit Ferrosilicium, Berlin 1890.

Kohlenstoff-, Mangan- und Phosphorgehalt nicht zugegen sein, während ein Siliciumgehalt von 0,4 bis 0,7 v. H. nicht unerwünscht ist.

Die Erscheinungen beim Fliessen und Erstarren des Eisens sind denen, welche das grelle Roheisen zeigt, ähnlich. Wie dieses pflegt es reichlich Funken zu werfen und, sofern es nicht phosphorreich ist, einen breiartigen Zustand anzunehmen, bevor es völlig starr wird.

Weissstrahliges Roheisen.

Die Bruchfläche zeigt strahliges Gefüge, dessen Strahlen senkrecht gegen die Abkühlungsflächen gerichtet sind. Die Farbe ist reinweiss. Der Kohlenstoffgehalt pflegt 3 bis 4,5 v. H., der Mangangehalt 1 bis 4 v. H. zu betragen. Der Schwefelgehalt ist durchschnittlich niedriger als der des vorstehend besprochenen Roheisens. Nach der mehr oder minder vollkommenen Ausbildung der Strahlen kann man gewöhnlichen Weissstrahl und hochstrahliges Roheisen unterscheiden; letzteres ist kohlenstoff- und manganreicher. Steigt dagegen der Siliciumgehalt bis zu einem Maasse, dass theilweise Graphitausscheidung eintritt, so nennt man das Roheisen Kerneisen oder halbirtes Roheisen.

Im geschmolzenen Zustande ist das weissstrahlige Roheisen dünnflüssiger als das vorige, das Funkenwerfen ist schwächer oder fehlt gänzlich. Dagegen pflegen die manganreicheren Sorten mit einer Flammenschicht bedeckt zu sein, aus welcher sich ein dünner, weisser, grösstentheils aus Kieselsäure bestehender Rauch entwickelt.

Dieses Roheisen wird vorzugsweise zum Verfrischen benutzt; ausnahmsweise in Giessereien als Zusatz zu grauem Roheisen, um dessen Eigenschaften in bestimmter Weise zu beeinflussen.

Spiegeleisen.

Wenn die Strahlen des vorstehend besprochenen Roheisens eine grössere Breite annehmen, so entstehen grosse, ebene Absonderungsflächen von weisser Farbe, welche ebenfalls rechtwinklig gegen die Abkühlungsflächen gerichtet sind, sich gegenseitig aber in verschiedenen Richtungen kreuzen, und welche Spiegel genannt werden. Das betreffende Roheisen heisst Spiegeleisen. Es ist durch einen höheren Kohlenstoff- und Mangangehalt als das weissstrahlige Eisen ausgezeichnet (Kohlenstoff 4 bis 5 v. H., Mangan 5 bis 20 v. H.); da ein Phosphorgehalt den Werth des Spiegeleisens abmindern würde, benutzt man nur phosphorarme Erze für seine Darstellung, und das Eisen enthält daher selten mehr als 0,15 v. H. Phosphor, meistens weniger. Auch der Schwefelgehalt dieses Roheisens ist stets gering, da er durch den nie fehlenden reichlichen Mangangehalt in die Schlacke geführt wird.

In Drusenräumen des Spiegeleisens findet man nicht selten blätter- oder fächerförmige, sich durchkreuzende Krystallbildungen. Jedes dieser Blätter besteht, wie Martens zuerst nachwies, (Zeitschr. des Ver. deutsch. Ingenieure 1878, Seite 205), aus einer Reihe nebeneinander liegender vierseitiger Säulen des rhombischen Systems.

Uebergänge zwischen dem eigentlichen Spiegeleisen und dem Weissstrahl, bei welchem die Absonderungsflächen schmal sind und

strahlenförmigen Bildungen ähneln, werden Halbspiegeleisen genannt. Spiegeleisen mit einem Mangangehalte von 5 bis 6 v. H. pflegt zwar deutlich ausgebildete, aber kleine Spiegelflächen aufzuweisen und heisst Kleinspiegel; die grössten Spiegelflächen erscheinen bei einem Mangangehalte von 6 bis 15 v. H. (Grobspiegel); bei noch höherem Mangangehalte werden die Spiegel wieder undeutlicher (hochmanganhaltiges Spiegeleisen). Fand das Spiegeleisen Gelegenheit, grössere Mengen von Silicium aufzunehmen, so zeigt sich am Saume der Spiegelflächen beginnende Graphitausscheidung und das Eisen heisst Grau- oder Saumspiegel.

Geschmolzenes Spiegeleisen ist sehr dünnflüssig, so dass es bisweilen in die Fugen des Schmelzofens eindringt; beim Fliessen zeigt es reichliche Flammenbildung mit Rauchentwickelung (ohne Funkenwerfen), und beim Abkühlen geht es rasch in den festen Zustand über, ohne einen breiartigen Uebergangszustand zu durchlaufen. Die Ausbildung der Spiegel erfolgt um so vollständiger, je langsamer die Abkühlung von statten geht; daher lässt man wohl das Spiegeleisen unter einer Schlackendecke erkalten, sofern man Werth auf vollendete Ausbildung der Spiegelfläche legt.[1])

Das Spiegeleisen findet nur bei den verschiedenen Frischverfahren Verwendung. Es ist hart und sehr spröde.

Eisenmangane.

Wenn der Mangangehalt des Eisens über 25 v. H. hinausgeht, verliert sich das dem Spiegeleisen eigenthümliche blättrige Gefüge und macht einem dichten feinkörnigen Gefüge Platz, welches ziemlich häufig durch nadelförmige Krystallbildungen unterbrochen ist Die reinweisse Farbe des Spiegeleisens ist in gelblichweiss übergegangen; wo aber beim Abkühlen die Luft durch entstandene feine Risse beschränkten Zutritt fand, da entstehen prächtige Anlauffarben in allen Farben des Regenbogens.

Man stellt solche Eisenmangane im Grossen dar mit Mangangehalten von 30 bis 85 v. H., mitunter noch etwas darüber. Mit dem Mangangehalte steigt der Kohlenstoffgehalt, und in den manganreichsten Sorten kann dieser 7,5 v. H. betragen, sofern nicht ein grösserer Siliciumgehalt zugegen ist.

Auch Siliciumeisenmangane (häufig Siliciumspiegel genannt, obschon sie nicht immer das dem Spiegeleisen eigenthümliche Gefüge besitzen) mit einem Siliciumgehalte bis etwa 12 v. H. werden für gewisse Zwecke des Eisenhüttenbetriebes erzeugt. Ihr Kohlenstoffgehalt sinkt mit zunehmendem Siliciumgehalte; der hohe Mangangehalt aber verhindert trotz des letzteren die Graphitbildung.

Alle diese Eisenmanganlegirungen finden nur als sauerstoffentziehende Zusätze bei der Darstellung des Flusseisens Verwendung.

1) Auch das Spiegeleisen wurde früher, wie das graue Roheisen, fast nur nach dem Bruchaussehen verkauft, wobei man die Grösse der Spiegel als Maassstab betrachtete. In der Jetztzeit pflegt die Höhe des durch chemische Untersuchung gefundenen Mangangehalts bestimmend zu sein; mit dem Mangangehalte steigt der Preis.

Ihre Herstellungskosten wachsen erheblich mit dem Mangangehalte; aber manganreiche Eisenmangane sind trotzdem unentbehrlich in solchen Fällen, wo man geschmolzenem Flusseisen eine bestimmte Menge Mangan zuzuführen beabsichtigt, ohne zugleich seinen Kohlenstoffgehalt erheblich anzureichern.

Beispiele der Zusammensetzung des weissen Roheisens und der Eisenmangane.

	Gesammter Kohlenstoff	Mangan	Silicium	Phosphor	Schwefel	Kupfer
Gewöhnliches Weisseisen aus Cumberland, zur Darstellung schmiedbaren Gusses benutzt, von mir untersucht	3,03	0,16	0,28	0,02	0,10	n. best.
Gewöhnliches Weisseisen aus Gleiwitz[1])	3,18	0,78	0,53	0,96	0,07	„
Feinstrahliges Eisen von Reschitza, nach Kerpely[2])	3,66	0,56	0,74	0,19	0,21	0,06
Gewöhnliches Weisseisen von Ilsede[3])	1,64	1,68	0,03	3,12	0,14	n. best.
Oberschlesisches weisses Holzkohlenroheisen, nach Jüngst[4])	2,76	0,52	0,33	0,91	0,08	„
Oberschlesisches weisses Thomasroheisen, von mir untersucht (enthielt auch 0,056 v. H. Titan, 0,073 v. H. Chrom, 0,072 v. H. Vanadium) . . .	2,52	0,79	0,29	2,36	0,12	0,10
Weissstrahliges Holzkohlenroheisen von Eisenerz (Oesterr. Jahrbuch, Bd. 36, S. 89)	3,72	0,69	0,12	0,07	0,02	n. best.
Weissstrahl von Ilsede („Stahl und Eisen" 1881, S. 245)	2,68	3,84	0,11	3,29	0,04	„
Weissstrahl von Reschitza, nach Kerpely[2])	4,27	2,22	0,32	0,04	Sp.	0,24
Weissstrahliges Eisen von Firminy („Stahl und Eisen" 1889, S. 858) .	3,20	1,02	0,40	0,07	0,07	n. best.
Weissstrahliges Eisen von Mont St. Martin (Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 759)	3,20	2,00	0,35	2,20	0,02	„
Weissstrahl von Lölling (Holzkohlenroheisen; Oesterr. Jahrb. 1888, S. 87)	3,50	4,22	0,57	Sp.	0,05	„
Kerneisen (halbirtes Weisseisen mit 0,75 v. H. Graphit) von Gleiwitz; Quelle wie oben	3,51	3,36	1,23	0,89	0,05	„
Kerneisen mit 2,46 v. H. Graphit von Georgs-Marienhütte; persönliche Mittheilung	3,67	2,74	1,03	0,09	0,05	„
Kleinspiegeleisen ebendaher	3,83	4,28	0,37	0,08	Sp.	„
Spiegeleisen ebendaher	4,07	4,75	0,20	0,08	0,05	„

1) Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band XXII, Seite 291.
2) Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, Seite 80.
3) „Stahl und Eisen" 1881, Seite 245. Man beachte den niedrigen Kohlenstoffgehalt dieses Roheisens. Ohne den sehr hohen Phosphorgehalt und ziemlich beträchtlichen Schwefelgehalt würde das Eisen nicht mehr als Roheisen gelten können.
4) Schmelzversuche mit Ferrosilicium.

	Gesammter Kohlenstoff	Mangan	Silicium	Phosphor	Schwefel	Kupfer
Spiegeleisen von den Kruppschen Eisenwerken, in meinem Laboratorium untersucht	5,30	11,30	0,30	0,16	0,01	n. best.
Spiegeleisen von Reschitza, nach Kerpely; Quelle wie oben	5,39	7,05	0,52	0,002	0,21	0,07
Hochmanganhaltiges Spiegeleisen von St. Louis („Stahl und Eisen" 1889, S. 858)	6,00	27,41	0,23	0,06	0,01	0,02
Grauspiegel mit 2,71 v. H. Graphit von Georgs-Marienhütte; Quelle wie oben	5,20	4,47	0,88	0,07	0,04	n. best.
Grauspiegeliges Eisen von Aplerbecker Hütte, von mir untersucht	4,18	3,80	0,45	0,29	0,02	0,25
Eisenmangan von Reschitza, nach Kerpely; Quelle wie oben	4,01	28,35	0,90	0,24	0,00	0,06
Krystallisirtes Eisenmangan von Oberhausen (1878), von mir untersucht	5,53	35,43	0,06	Sp.	Sp.	n. best.
Eisenmangan von Hoerde (1881), von mir untersucht	5,31	55,06	2,52	0,38	Sp.	0,17
Eisenmangan von Phönix bei Ruhrort (1880), von mir untersucht	6,94	76,95	0,02	0,24	n. best.	0,37
Siliciumspiegel von Middlesborough („Stahl und Eisen" 1889, S. 859)	1,39	19,25	12,25	0,05	Sp.	0,01
Desgleichen von Terre-Noire (Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris 1878, S. 78)	2,65	20,50	10,20	0,18	n. best.	n. best.

Litteratur.

a) Einzelne Werke.

E. F. Dürre, Ueber die Constitution des Roheisens und den Werth seiner physikalischen Eigenschaften zur Begründung eines allgemeinen Constitutionsgesetzes für dasselbe. Leipzig 1868.

R. Wachler, Vergleichende Qualitätsuntersuchungen rheinisch-westfälischen und ausländischen Giesserei-Roheisens. Sonderabdruck aus Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen. Berlin 1879.

A. Ledebur, Das Roheisen mit besonderer Berücksichtigung seiner Verwendung für die Eisengiesserei. Dritte vollständig umgearbeitete Auflage. Leipzig 1891.

b) Abhandlungen.

A. Martens, Zur Mikrostructur des Spiegeleisens. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1878, S. 205, 481.

A. Martens, Ueber das mikroskopische Gefüge und die Krystallisation des Roheisens, speciell des grauen Roheisens. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1880, S. 398.

H. Wedding, The difference in the microscopical structure of charcoal and coke pig irons. Journal of the Charcoal Iron Workers, vol. 7, p. 120.

Th. Turner, The constituents of cast iron. Journal of the Iron and Steel Institute 1886, I, p. 163.

A. Platz, Ueber einige Saigerungserscheinungen beim weissen Roheisen. „Stahl und Eisen" 1886, S. 244.

B. Platz, Die Wanzenbildung auf Roheisen und die Kügelchenbildung im Roheisen. „Stahl und Eisen" 1887, S. 639.

Riemer, Die Wanzenbildung auf Roheisen und die Kügelchenbildung im Roheisen. „Stahl und Eisen" 1887, S. 791.

A. Jaumain, Notize sur la composition des pailles qui se détachent de la partie supérieure des gueusets et de certaines fontes d'affinage. Annales des mines, série 8, tome 1, p. 552.

W. Shimer, Titanium carbide in pig-iron. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 15, p. 455.

C. Jüngst, Schmelzversuche mit Ferrosilicium. Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band 38 (1890), Heft 1; auszugsweise bearbeitet in „Stahl und Eisen" 1890, S. 292.

Dellwick, Ueber die Theorieen zur Darstellung von starkem Giessereiroheisen. Berg- und hüttenmännische Zeitung 1897, S. 80.

E. Donath und M. Haissig, Zur Kenntniss des technischen Ferrosiliciums. „Stahl und Eisen" 1897, S. 670.

A. Ledebur, Ueber einige Saigerungserscheinungen beim Eisen. „Stahl und Eisen" 1884, S. 634.

A. Ledebur, Ueber die Kügelchenbildung in Gussstücken. „Stahl und Eisen" 1887, S. 170.

A. Ledebur, Ueber den Einfluss der Winderhitzung auf die Zusammensetzung des erblasenen Roheisens. „Stahl und Eisen" 1887, S. 168.

A. Ledebur, Neuere Untersuchungen über die Eigenschaften des Gusseisens. „Stahl und Eisen" 1890, S. 602.

A. Ledebur, Giessereiroheisen und Gusseisen. „Stahl und Eisen" 1896, S. 433.

A. Ledebur, Steigerung der Gusseisenfestigkeit durch Erschütterungen. „Stahl und Eisen" 1898, S. 213.

II. Der Hochofen.

I. Geschichtliches.

Den zur Darstellung von Roheisen und Eisenmanganen im Grossen benutzten Ofen nennt man wegen seiner beträchtlichen Höhe **Hochofen, hoher Ofen** oder **Hohofen.** Wie der Hochofen nach Einführung der Anwendung von Wasserkraft zum Betriebe der Gebläse allmählich aus den kleineren zur Darstellung schmiedbaren Eisens aus den Erzen benutzten Oefen sich entwickelte, ist bereits auf Seite 11 geschildert worden.

Die frühesten Spuren der gewerbsmässigen Roheisendarstellung finden sich nach Gurlt im Anfange des 13. Jahrhunderts im Siegerlande und bei Schmalkalden.[1]) Die ersten dafür benutzten Oefen wurden Bla-Oefen oder Blau-Oefen (Blaseöfen) genannt und hatten kaum mehr als 3 m Höhe; später erhöhte man die Oefen bis auf 5 m und verlieh ihnen nun erst den Namen Hochöfen. Gegen die Mitte des 15. Jahrhunderts wurde die Roheisendarstellung, welche regelmässig Hand in Hand mit der unmittelbaren Verwendung des Roheisens zur Guss-

1) Adolf Gurlt, Bergbau und Hüttenkunde, 2. Auflage, Seite 128.

waarenerzeugung ging, in England eingeführt, in den ersten Jahren des 16. Jahrhunderts beginnt sie am Harze sich einzubürgern. Der erste Hochofen Nordamerikas wurde um 1644 in Massachusetts Bay errichtet.[1])

Vielfach aber vollzog sich die Aenderung der Betriebsweise ganz allmählich. In den österreichischen Alpen benutzte man noch gegen Ende des vorigen Jahrhunderts Stücköfen, zur unmittelbaren Darstellung schmiedbaren Eisens bestimmt, in welchem vor dem eigentlichen „Stücke", d. h. dem Schweisseisen, regelmässig Roheisen erfolgte,[2]) und in einzelnen Gegenden Japans soll noch heute ein ähnlicher Betrieb stattfinden.

Während des vorigen und theilweise schon während des 17. Jahrhunderts stellte man, veranlasst durch den überhand nehmenden Holzmangel Grossbritanniens, in diesem Lande beharrlich fortgesetzte Versuche an, anstatt der bis dahin ausschliesslich verwendeten Holzkohlen mineralische Brennstoffe für den Hochofenbetrieb zu verwenden. 1619 wurde schon in Dudley ein Ofen versuchsweise mit Steinkohlen betrieben;[3]) einige Jahre später wurde durch den Erfinder des Verfahrens, Dud Dudley, bei Hasco-Bridge in Staffordshire der erste für den Betrieb mit Koks bestimmte Hochofen gebaut. Unglückliche Verhältnisse liessen jedoch das Unternehmen nicht zur Blüthe kommen, und erst 1735 wurde der erste regelmässige Betrieb mit Koks durch Abraham Darby zu Coalbrookdale in Shropshire, bald darauf auch zu Pontypool in Monmouthshire (1740) eingerichtet.[4])

Auf dem Festlande wurden die ersten Versuche, mit Koks zu schmelzen, bei einem Holzkohlenhochofen zu Sulzbach im Saargebiete im Jahre 1767 angestellt;[5]) der erste von vornherein für die ausschliessliche Benutzung von Koks bestimmte Hochofen wurde 1782 zu Creuzot in Frankreich errichtet;[6]) 1795 folgte die Erbauung eines Kokshochofens zu Gleiwitz, Oberschlesien.[7])

Die Roheisenerzeugung der älteren Hochöfen war im Vergleiche zu derjenigen der Jetztzeit sehr klein. Ein im Jahre 1544 zu Ilsenburg am Harze angelegter Hochofen lieferte, wie aus überkommenen Hüttenrechnungen hervorgeht, gegen Ende des 16. Jahrhunderts täglich 15 Ctr. (etwa 750 kg) Eisen;[8]) auch der von Dudley erbaute Kokshochofen zu Hasco-Bridge erzeugte wöchentlich nur 7 t Roheisen,[9]) und diese Erzeugung galt damals für aussergewöhnlich gross. Selbst

1) James M. Swank, History of the manufacture of iron, Philadelphia 1892, p. 108.

2) G. Jars, Metallurgische Reisen. Deutsch von C. A. Gerhard, Berlin 1777—1785, Band I, Seite 65.

3) L. Beck, Geschichte des Eisens, Band 2, Seite 1259—1270.

4) J. M. Swank, im genannten Werke, Seite 53, auch Ludwig Beck, Geschichte des Eisens, Band 3, Seite 162.

5) Simmersbach, Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund. Berlin 1887. A. Hasslacher, Beiträge zur älteren Geschichte des Eisenhüttenwesens im Saargebiete. Berlin, 1896.

6) „Stahl und Eisen" 1896, Seite 983, 1005.

7) Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band 22, Seite 253.

8) Wedding, Beiträge zur Geschichte des Eisenhüttenwesens im Harz.

9) Beck, Geschichte des Eisens, Band 2, Seite 1261.

der zu Gleiwitz 1795 erbaute Ofen vermochte anfänglich nicht mehr als 7 t Roheisen in der Woche zu liefern, jedoch hatte um 1800 sich die Erzeugung auf etwa 20 t gesteigert. In der Jetztzeit ist eine wöchentliche Roheisenerzeugung eines Hochofens von 700 t keineswegs erheblich, und nicht selten steigt sie auf mehr als den doppelten Betrag.

Die grösste Menge alles erzeugten Roheisens verwendete man anfänglich für die Giesserei. Der Giessereibetrieb war gewöhnlich der eigentliche Zweck, um dessentwillen man Hochöfen anlegte; denn schmiedbares Eisen hatte man schon seit Jahrtausenden unmittelbar aus Erzen erzeugen können, und eine Veranlassung, diesen einfacheren Weg zu verlassen, lag damals nicht vor. Man stellte demnach graues Roheisen dar und vergoss das flüssige Metall unmittelbar in Formen. Nur die hierbei entstehenden Abfälle wurden auf schmiedbares Eisen verarbeitet. Es erklärt sich hieraus, dass in Gegenden, wo manganreiche, für Weisseisendarstellung mehr als für Gusseisenerzeugung geeignete Erze verhüttet wurden, man sich verhältnissmässig langsam entschloss, das frühere Verfahren, Darstellung von schmiedbarem Eisen unmittelbar aus den Erzen, aufzugeben und zur Roheisendarstellung überzugehen. Erst als nach Erfindung der Dampfkraft und Einführung der Eisenbahnen mit Dampfbetrieb der Bedarf an Eisen im Ganzen und an schmiedbarem Eisen insbesondere in nie geahnter Weise stieg,[1]) und als man ferner gelernt hatte, zum Verfrischen des Roheisens mineralische Kohlen zu benutzen, während die unmittelbare Darstellung von schmiedbarem Eisen aus Erzen nach wie vor nur mit Holzkohlen möglich war, gewann die Darstellung weissen Roheisens, welches seines niedrigeren Siliciumgehalts halber sich rascher als graues in schmiedbares Eisen umwandeln lässt, eine erhöhte Bedeutung, und die Menge des ausschliesslich zum Verfrischen erblasenen — grauen und weissen — Roheisens überwog bald die Menge des für die Giesserei bestimmten um ein Beträchtliches.

Der gesteigerte Bedarf an Roheisen überhaupt liess sich jedoch nur durch Anwendung von Koks für den Hochofenbetrieb decken, und je mehr das Eisenbahnnetz sich über die eisenerzeugenden Gegenden ausbreitete, desto reichlichere Gelegenheit zur Beschaffung verhältnissmässig billiger Koks bot sich auch solchen Eisenwerken, welche fern von den Steinkohlenlagern belegen waren. So minderte sich die Zahl der Holzkohlenhochöfen von Jahr zu Jahr, während die Kokshochöfen sich rasch vermehrten. Die geringere Verwendbarkeit des Koksroheisens für den unmittelbaren Guss aus dem Hochofen[2]) und die wachsende Zahl der Eisengiessereien, fern von einem Hochofenwerke, liessen auch da, wo man Giessereiroheisen erzeugte, die alte Betriebsweise — die Vereinigung der Eisengiesserei mit dem Hochofen — mehr und mehr verschwinden, sobald man zum Betriebe mit Koks überging. Der Eisengiessereibetrieb sonderte sich vom Hochofenbetriebe

1) Vergl. Seite 13.

2) Man pflegt die für Graueisendarstellung bestimmten Kokshochöfen auf tiefgraues, für den unmittelbaren Guss nicht geeignetes, zum Umschmelzen bestimmtes Roheisen zu betreiben. Ausserdem pflegt das unter stärkerem Gasdrucke erfolgte Koksroheisen reichlichere Mengen von Gasen gelöst zu enthalten und deshalb schwieriger dichten Guss zu liefern als Holzkohlenroheisen.

und trat als selbstständiges Glied in die Reihe der verschiedenen Betriebszweige. Der Zeitpunkt, von wo an diese Umwandlung sich zu vollziehen begann, war das Ende des 18. Jahrhunderts. Noch um die Mitte des 19. Jahrhunderts gab es indess zahlreiche Eisengiessereien, in welchen man zur Ersparung an Schmelzkosten für das Roheisen unmittelbar aus dem Hochofen goss, zumal wenn dieser mit Holzkohlen betrieben wurde; mit der Abnahme der Zahl der Holzkohlenhochöfen ist auch diese Betriebsweise jetzt, am Ende des 19. Jahrhunderts, ziemlich selten geworden. Während in Deutschland im Jahre 1871 noch 17 v. H. aller Eisengusswaaren unmittelbar aus dem Hochofen gegossen wurden,[1]) war im Jahre 1896 das Verhältniss auf 2,3 v. H. gesunken.

2. Die innere Form des Hochofens.

Die verschiedenen Hochofenformen und ihr Einfluss auf den Hochofenschmelzgang.

Der Hochofen ist ein Schachtofen (Seite 133), in dessen obere Oeffnung, die Gicht, die zur Heizung und Reduction bestimmten Brennstoffe — Holzkohlen, Koks, auch wohl rohe Steinkohlen, Anthracite, und neben den Holzkohlen rohes Holz — in abwechselnden Lagen mit den zu verhüttenden Erzen und Zuschlägen eingeschüttet werden, während in dem unteren Theile des Ofens durch zugeführte Gebläseluft Verbrennung des Brennstoffs stattfindet.

Solcherart entsteht die jedem eigentlichen Schachtofen eigenthümliche entgegengesetzte Bewegungsrichtung der gasförmigen Verbrennungserzeugnisse und der festen Körper, welche eine ausgedehnte Berührung beider ermöglicht. Die Gase steigen empor, geben hierbei einen reichlichen Theil ihrer aufgenommenen Wärme an die ihnen begegnenden festen Körper ab und entweichen schliesslich aus der Gicht; die festen Körper führen die den Gasen entzogene Wärme wieder nach unten. Während des Niederrückens der Erze findet unter der Berührung mit dem Kohlenoxydgehalte des Gasstroms die Reduction eines reichlichen Theils ihres Eisengehalts statt; vollendet wird die Reduction durch die Berührung der bereits geschmolzenen Massen mit den weissglühenden Kohlen, welche zugleich die Kohlung des Eisens bewirken. Aus den Berechnungen auf Seite 287 folgt aber, dass der Wärmeverbrauch zur Reduction grösser ist, wenn Kohle als wenn Kohlenoxydgas das Reductionsmittel bildet, und dass aus diesem Grunde möglichst weitgehende Reduction durch Kohlenoxydgas wünschenswerth ist. Die flüssigen Enderzeugnisse der Reduction und Schmelzung sind das Roheisen und die Schlacke; sie sammeln sich unterhalb der Windeinströmungsöffnungen (Formen), sondern sich vermöge der Verschiedenheit ihres specifischen Gewichts (specifisches Gewicht des Roheisens etwa 7,3, der Schlacke 2,8) von einander und lassen sich getrennt dem Hochofen entziehen.

Die Gase des Hochofens haben demnach eine doppelte Aufgabe zu erfüllen. Sie bilden die Träger der bei ihrer Erzeugung gebildeten

1) „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 212.

Wärme, um diese an die ihnen begegnenden festen Körper abzugeben, und sie sollen als Reductionsmittel für die Erze dienen. In je gleichmässigerer Vertheilung sie die „Schmelzsäule“, d. h. die den Ofen anfüllenden festen Körper, durchdringen, desto vollständiger können sie beide Aufgaben erfüllen.

Die innere Form des Hochofens muss demnach so beschaffen sein, dass sie sowohl jene gleichmässige Vertheilung der Gase als auch das gleichmässige Niederrücken der festen Körper thunlichst erleichtert. Hierfür ist zunächst erforderlich, dass die vom Umfange des Ofens her durch die Windformen eintretende Verbrennungsluft auch bis zur Mitte des Ofens vordringen kann; mit dem Durchmesser des Ofens in der Formebene muss deshalb die Geschwindigkeit des eintretenden Windes zunehmen. Der gleichmässige Niedergang der festen Körper aber wird erschwert durch die Reibung, welche sie an den Ofenwänden erleiden. An dem Umfange des Ofeninnern wird dadurch ihre Bewegung verlangsamt, in der Mitte rücken sie rascher vor. Dadurch entsteht eine Auflockerung am Umfange und eine dichtere Lagerung in der Mitte; die Gase finden demgemäss am Umfange geringere Widerstände und erhalten dadurch das Bestreben, vorwiegend hier aufzusteigen.

Die einfachste Form des Hochofens würde ein Cylinder sein; aber dem erläuterten Zwecke würde sie um so weniger entsprechen, je grösser die Abmessungen des Ofens sind. Denn je grösser der Ofendurchmesser in der Ebene ist, wo die Verbrennungsluft eintritt (der Formebene), desto schwieriger kann diese bis zur Mitte gelangen, desto grösser muss, wie erwähnt, ihre Geschwindigkeit (Spannung), und die zur Erzeugung dieser Geschwindigkeit erforderliche mechanische Arbeit sein. Ein enger Durchmesser des Ofens an dieser Stelle (in der Formebene) befördert demnach die Gleichmässigkeit der Verbrennung. Dem Bestreben der Gase aber, am Umfange aufzusteigen, können sie in einem cylindrischen Ofen in stärkerem Maasse Folge geben, als wenn der Ofen vom Verbrennungsraume (der Formebene) an nach oben hin allmählich weiter wird; letztere Form ist also für die Erzielung einer gleichmässigen Vertheilung der Gase günstiger. Hierzu kommt, dass von der Stelle an, wo die Sinterung der festen Körper beginnt, auch der Rauminhalt der niederrückenden Massen sich verringert, und dass die an einer noch tieferen Stelle eintretende Verbrennung der Kohlen eine fernere Abnahme des räumlichen Inhalts der Schmelzsäule zur Folge hat, für den gleichmässigen Niedergang der Körper demnach eine der Abnahme ihres räumlichen Inhalts entsprechende Abnahme des Ofenquerschnitts förderlich sein muss. Man giebt also dem untern Theile des Ofens, da, wo der Wind eintritt und die Verbrennung stattfindet, einen verhältnissmässig engen Durchmesser und lässt den Ofen von hier aus nach oben sich zunächst allmählich erweitern. Je grösser der Ofen ist, desto mehr fallen die geschilderten Umstände ins Gewicht. Kleine Oefen hat man in der That hier oder da cylinderförmig gebaut, ohne dass bemerkbare Nachtheile daraus sich ergeben hätten.[1])

1) „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 167; 1888, Seite 121, 337.

Jene Abnahme des räumlichen Inhalts der Schmelzsäule aber beginnt erst weit unterhalb der Gicht; schon aus diesem Grunde würde es unzweckmässig sein, jene Erweiterung bis zur Gicht hin fortzuführen, d. h. dem Ofen bis oben hin Trichterform zu geben. Auch noch andere Nachtheile würden dadurch entstehen. Die Reibung der festen Körper an den Ofenwänden würde in dem trichterförmigen Ofen verstärkt werden, und mit der Reibung würden die daraus hervorgehenden, oben geschilderten Nachtheile wachsen. Der Ofengang würde noch weniger befriedigend ausfallen, als bei cylindrischer Form. Aus diesen Gründen darf nur der untere Theil des Ofens Trichterform erhalten; die obere Begrenzung des Trichters, also die weiteste Stelle des Ofens, muss da liegen, wo der Beginn der Sinterung zu erwarten ist. Von hier an aufwärts bis zur Gicht pflegt man, auf den gewonnenen Erfahrungen fussend, den Ofen sich wieder etwas verengen zu lassen, um die Reibung der Schmelzsäule an den Wänden zu verringern und Stauungen beim Niedergange zu vermeiden, welche durch jene Reibung veranlasst werden könnten.

So entsteht die in Fig. 77 gezeichnete Urform der Hochöfen, dieselbe Form, welche schon vor Einführung der Roheisendarstellung die zur Gewinnung schmiedbaren Eisens aus Erzen benutzten Schachtöfen (Stücköfen) besessen hatten, und noch heute ist die gleiche Form bei einzelnen Oefen, z. B. manchen Hochöfen in den österreichischen Alpen in Anwendung. Zwei Kegel, welche mit ihren breiten Grundflächen aneinander stossen, bilden das Ofeninnere. Die Ebene *ab*, in welcher der Ofen seinen grössten Durchmesser besitzt, heisst der Kohlensack, der Theil zwischen Kohlensack und Formebene die Rast,[1]) der Theil oberhalb des Kohlensacks Schacht (im engeren Sinne).

Der gleichmässige Niedergang der Schmelzmaterialien wird, wie schon erwähnt, stattfinden, wenn die Höhenlage des Kohlensacks eine solche ist, dass von hier aus abwärts die mit der Vergasung der Brennstoffe und Schmelzung der Erze Hand in Hand gehende Verkleinerung des Rauminhalts der aufgegichteten Schmelzmaterialien beginnt.

Eine in der Jetztzeit sehr gebräuchliche Abart dieser Ofenform ist in Fig. 78 dargestellt. Der Herd des Ofens oder der Eisenkasten, d. h. der unterhalb der Formen befindliche Sammelraum für Roheisen und Schlacken, ist hier etwas geräumiger als bei der ersten Form.

Will man graues Roheisen darstellen, so ist hierfür in Rücksicht auf die erforderliche Reduction von Silicium und auf die grössere Strengflüssigkeit der Beschickung eine höhere Temperatur im Schmelzraume des Hochofens unmittelbar über den Formen erforderlich als für Weisseisendarstellung. In jetziger Zeit erzielt man diese hohe Temperatur allgemein durch Anwendung hoch erhitzten Gebläsewindes; aber die Anwendung dieses Mittels ist eine Erfindung des 19. Jahrhunderts, und die Vorrichtungen dazu wurden erst allmählich vervoll-

1) Die Benennung Rast ist aus der Anschauung hervorgegangen, dass die niederrückenden Erze hier auf der schiefen Ebene längere Zeit verweilen — rasten — müssen, um der Einwirkung der Gase besser preisgegeben zu werden. In Schriften aus dem vorigen Jahrhunderte begegnet man häufig dieser Meinung.

kommnet. Der gleiche Zweck lässt sich — obschon in weniger befriedigender Weise — erreichen, wenn man jene Erweiterung des Ofens nach oben hin nicht schon bei der Formebene, wie in Fig. 78, beginnen lässt, sondern den engeren Durchmesser bis zu einer gewissen Höhe oberhalb der Formen beibehält (Fig. 79). Je enger der Querschnitt dieses unteren Theiles ist, desto rascher ziehen die Gase hindurch, desto weniger Wärme geben sie innerhalb dieses Querschnitts ab, desto weniger abgekühlt verlassen sie ihn. Ein solcher Ofen besteht demnach aus drei Theilen. Zu unterst, den Verbrennungsraum und Schmelzraum bildend, findet sich das Gestell *a*, cylindrisch (bei älteren Oefen vierseitig prismatisch) geformt oder nur schwach nach oben sich erweiternd, eng im Durchmesser und nach unten wieder in

Fig. 77.

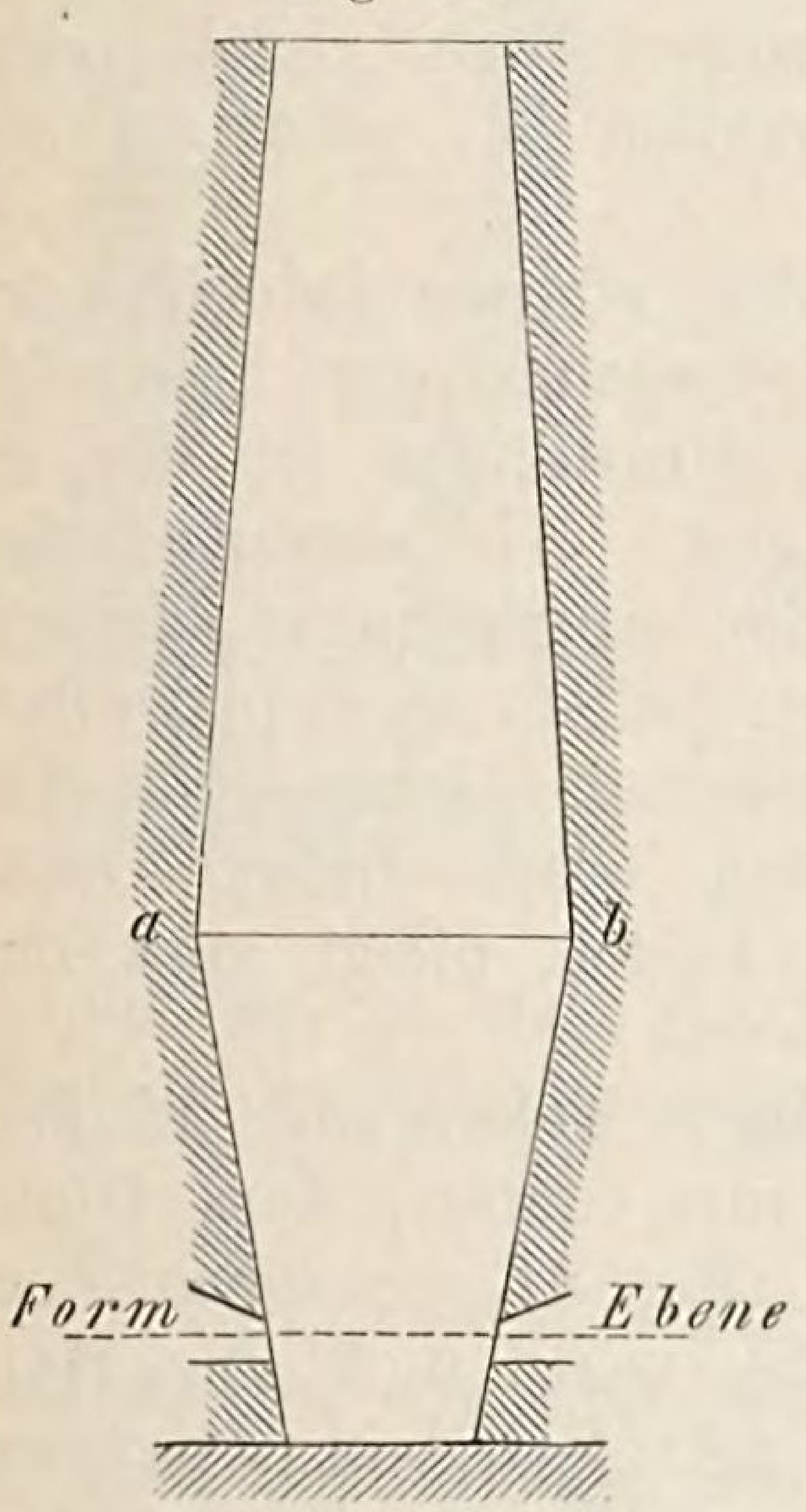


Fig. 78.

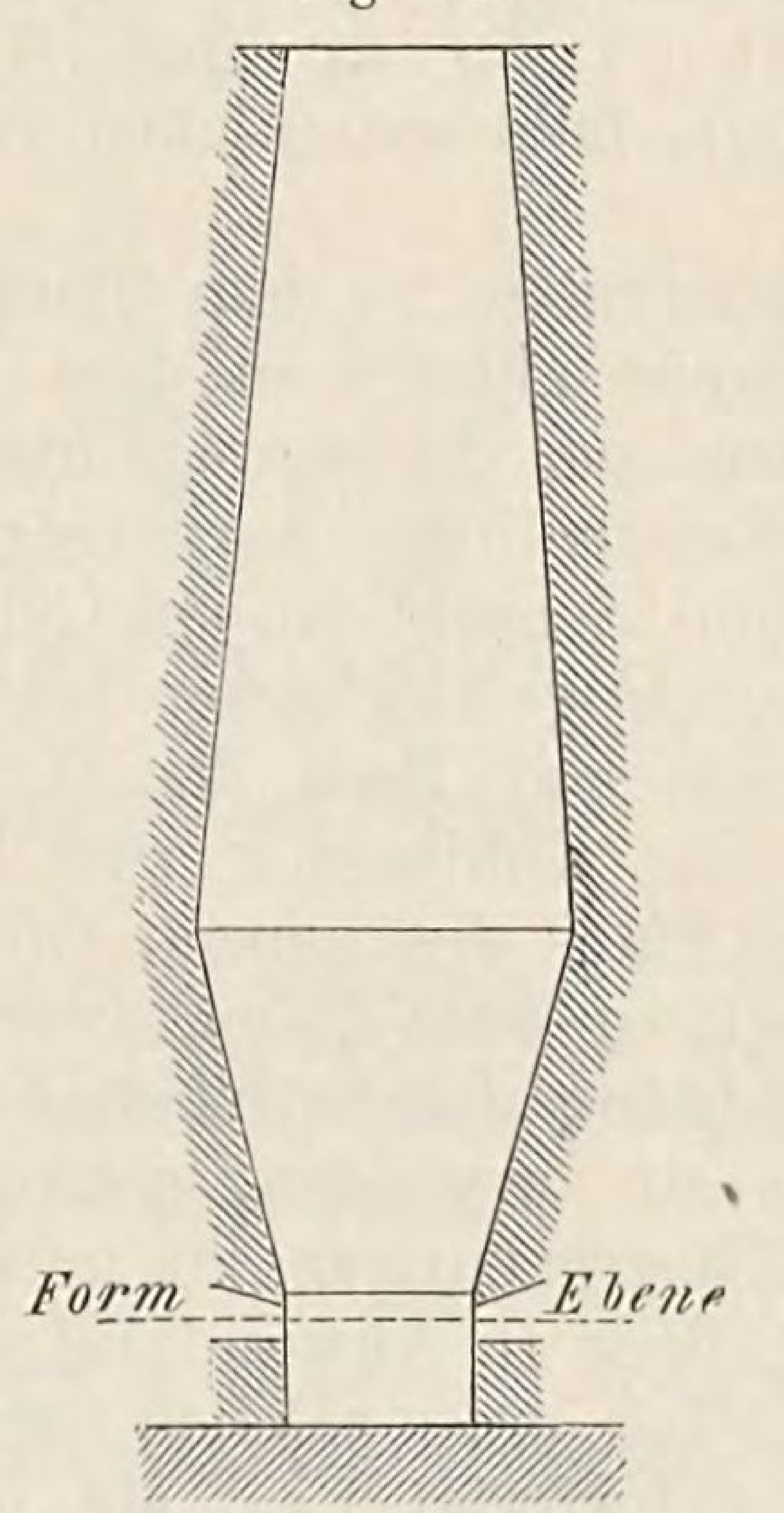
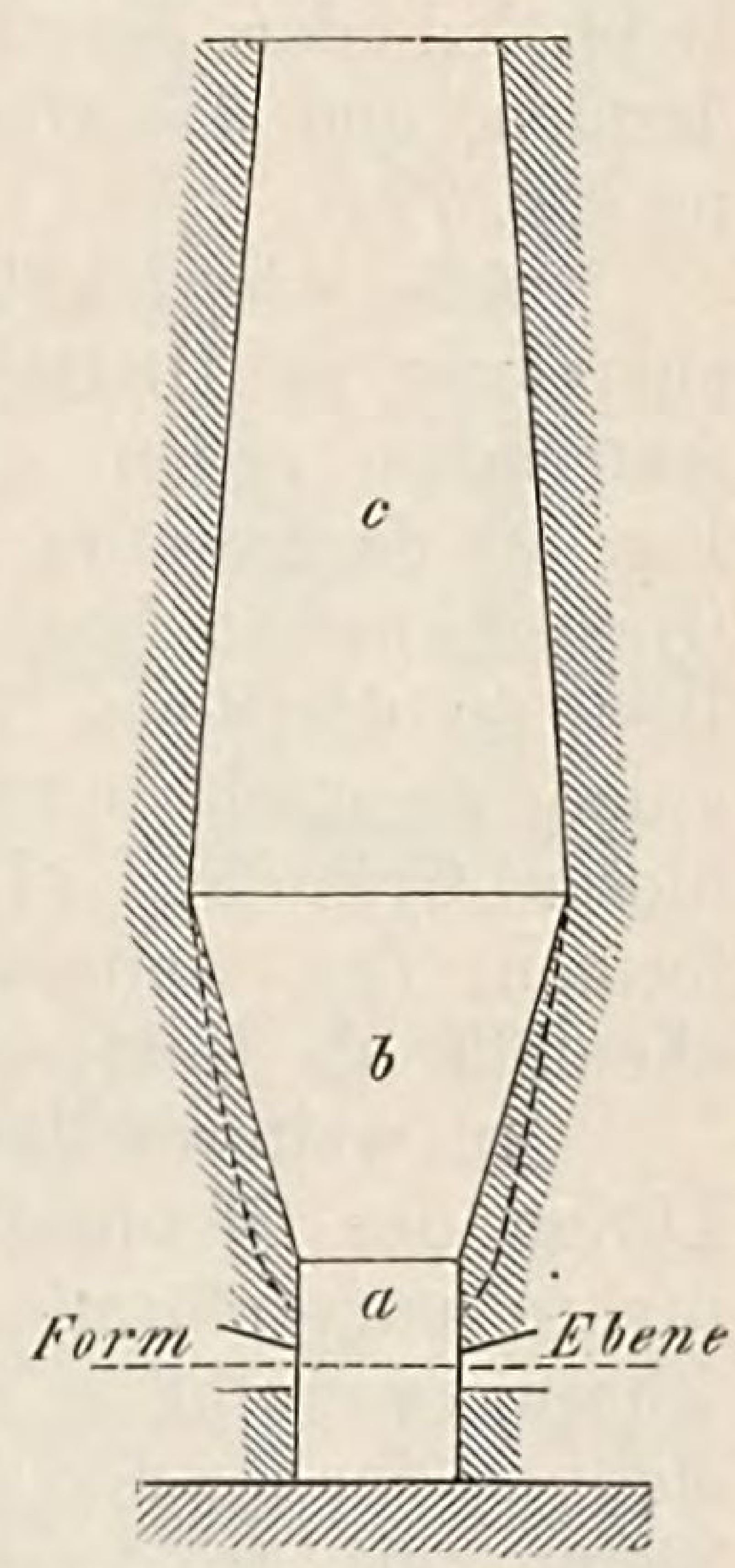


Fig. 79.



dem Herde endigend; auf das Gestell setzt sich als Mittelstück die nach oben sich stark erweiternde Rast *b*; den oberen Theil des Ofens bildet der Schacht *c*.

Vor Einführung der Winderhitzung waren solche engen und hohen Gestelle allgemein üblich, wo man graues Roheisen erzeugen wollte (Abbildungen solcher Hochöfen aus früherer Zeit sind unten in Fig. 97, 100 und 102 gegeben), und auch für Weisseisendarstellung hielt man vielfach die Anordnung eines eigentlichen Gestells — obschon niedriger und im Durchmesser weiter als für Graueisendarstellung — für zweckmässig. Je enger und höher aber das Gestell ist, desto grösser ist auch die Gasspannung daselbst und desto grösser die erforderliche Arbeit zur Verdichtung des einzublasenden Windes. Mit Recht hat man deshalb ein enges und hohes Gestell einem Hemmschuh verglichen, welcher einem Wagen auf ebener Strasse angelegt wird;[1])

1) E. Schinz, Studien über den Hochofen, Seite 80.

man erhöht entweder die erforderliche Arbeit zur Fortbewegung des Wagens, d. i. zum Betriebe des Hochofens, oder man verlangsamt die Bewegungsgeschwindigkeit, d. h. man verringert die Erzeugungsfähigkeit des Hochofens. Ausserdem schmelzen, wie die Erfahrung lehrte, die umgebenden Theile des Gestells und der Rast um so leichter weg, je enger der Ofendurchmesser an jenen Stellen ist, wie durch Punkte in Fig. 79 angedeutet ist; der Ofen pflegt also verhältnissmässig rasch sich zu erweitern. Daher wurden die Gestelle auch der für Graueisendarstellung bestimmten Hochöfen immer niedriger und im Durchmesser weiter, auf je höhere Temperaturen man den Wind zu erhitzen lernte, und in jetziger Zeit pflegt man in der Wahl der Hochofenform keinen Unterschied zu machen, ob der Ofen für Grau- oder Weisseisendarstellung bestimmt ist, sondern in dem nämlichen Ofen je nach Bedarf beide Roheisengattungen zu erzeugen. Die Form der meisten Hochöfen der Jetztzeit ist der in Fig. 78 dargestellten gleich oder ähnlich, und das Gestell, falls ein solches vorhanden ist, niedriger als in Fig. 79.

Alle scharfen Uebergänge in dem Ofenprofile können jedoch Veranlassung zu Ungleichmässigkeiten in dem Niedergange der Schmelzmaterialien geben. Aus der Erwägung dieses Umstandes ist die in Fig. 80 dargestellte Hochofenform hervorgegangen. Als vermittelndes Glied zwischen Rast und Schacht ist ein Cylinder eingeschaltet, dessen Höhe in der Regel nur einige Decimeter beträgt, jedoch auch bisweilen einen ziemlich beträchtlichen Theil der Gesammthöhe ausmacht. Da dieser Cylinder, wie der Kohlensack der bisher besprochenen Ofenformen, den weitesten Theil des ganzen Ofens bildet, pflegt man ihn ebenfalls als Kohlensack zu bezeichnen.

In weiterer Verfolgung des Betrebens, scharfe Uebergänge in den Linien des Ofenprofils zu vermeiden, gelangt man dahin, dem Ofeninnern curvenförmige Begrenzungen zu geben (Fig. 81), welches Verfahren vermuthlich häufiger in Anwendung wäre, wenn nicht die Herstellung der für den Aufbau eines solchen Ofens erforderlichen passenden Steine mit grösseren Schwierigkeiten als bei gradliniger Begrenzung verknüpft wäre.

Eine allmähliche Zusammenziehung des Ofenschachts nach der Gicht zu, wie bei den bisher besprochenen Ofenformen, erleichtert, wie erwähnt, das gleichmässige Niedergehen der „Gichten", d. h. der in die Gicht eingeschütteten Materialien, und zugleich die Bedienung der Gicht selbst. Ein Uebermaass in dieser Beziehung ruft jedoch andere Uebelstände hervor. Ein enger Gichtdurchmesser erhöht die Gasspannung im Ofeninnern, welche eine verstärkte Arbeit der Gebläsemaschine bedingt; eine zu starke Neigung der Seitenwände hat eine rasche Ausbreitung der Gichten bei ihrem Niedergange zur Folge, welche leicht eine Auflockerung an den Wänden, also gerade da, wo eine dichtere Lagerung erwünscht ist, veranlasst, und somit das Gegentheil des beabsichtigten Erfolges bewirkt. Nachdem diese Nachtheile einer zu engen Gicht, insbesondere die dadurch hervorgerufene Beschränkung der Roheisenerzeugung eines Ofens, mehrfach beobachtet, die Vortheile weiterer Gichten erkannt worden waren, gab man auf einzelnen Werken die übliche Kegelform des oberen Schachts auf und ging zu einer

cylindrischen Form über, wodurch dann die in Fig. 82 veranschaulichte Ofenform entstand. Die Erfahrung hat jedoch, wie erwähnt, gelehrt, dass eine schwache Zusammenziehung des oberen Schachts nach der

Fig. 80.

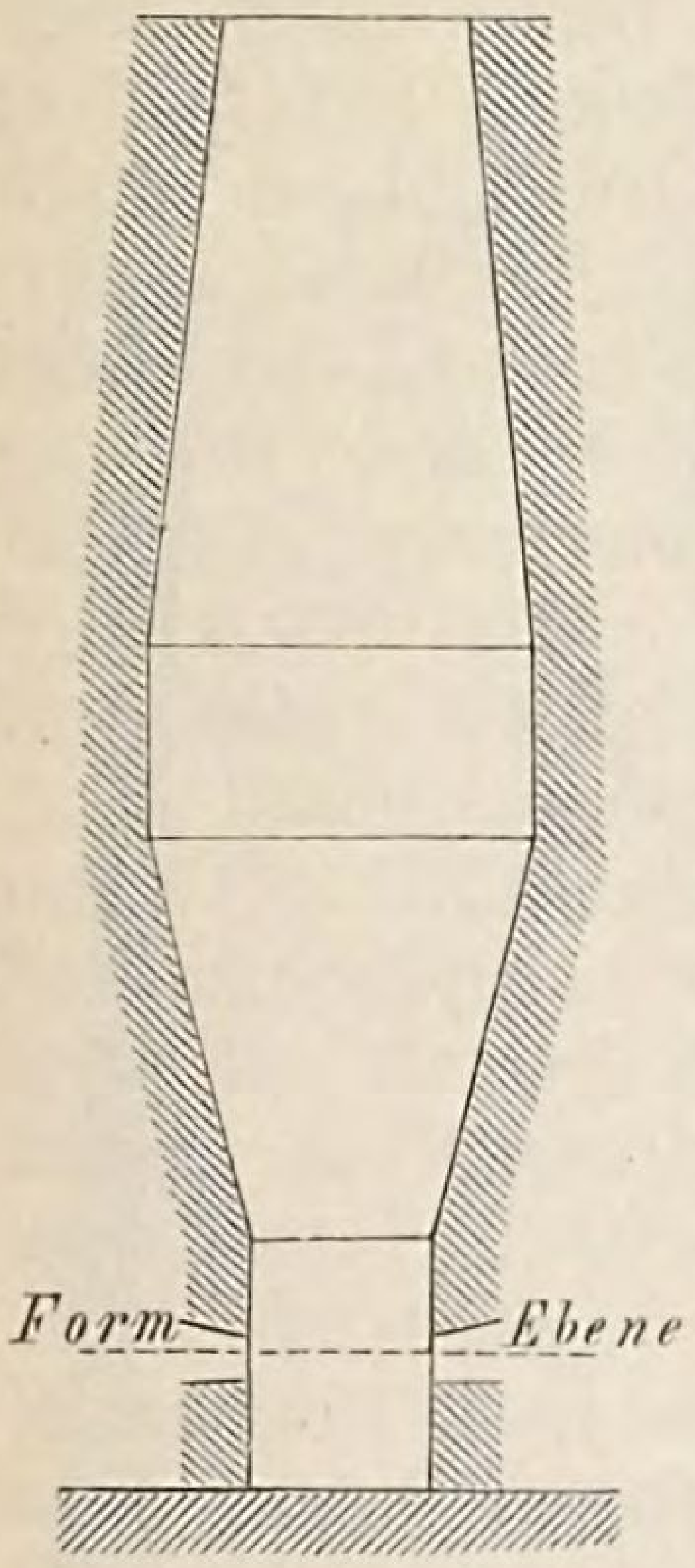


Fig. 81.

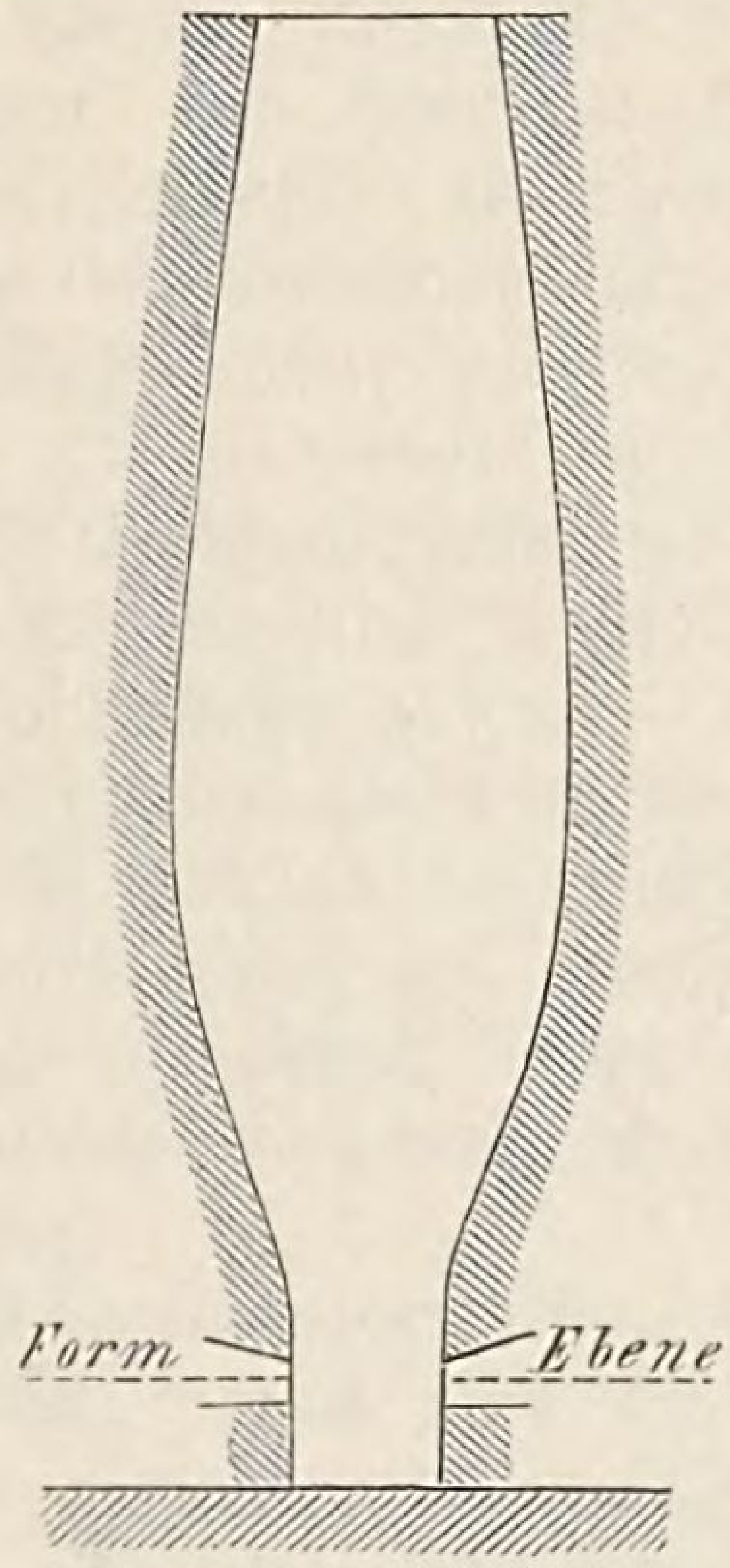
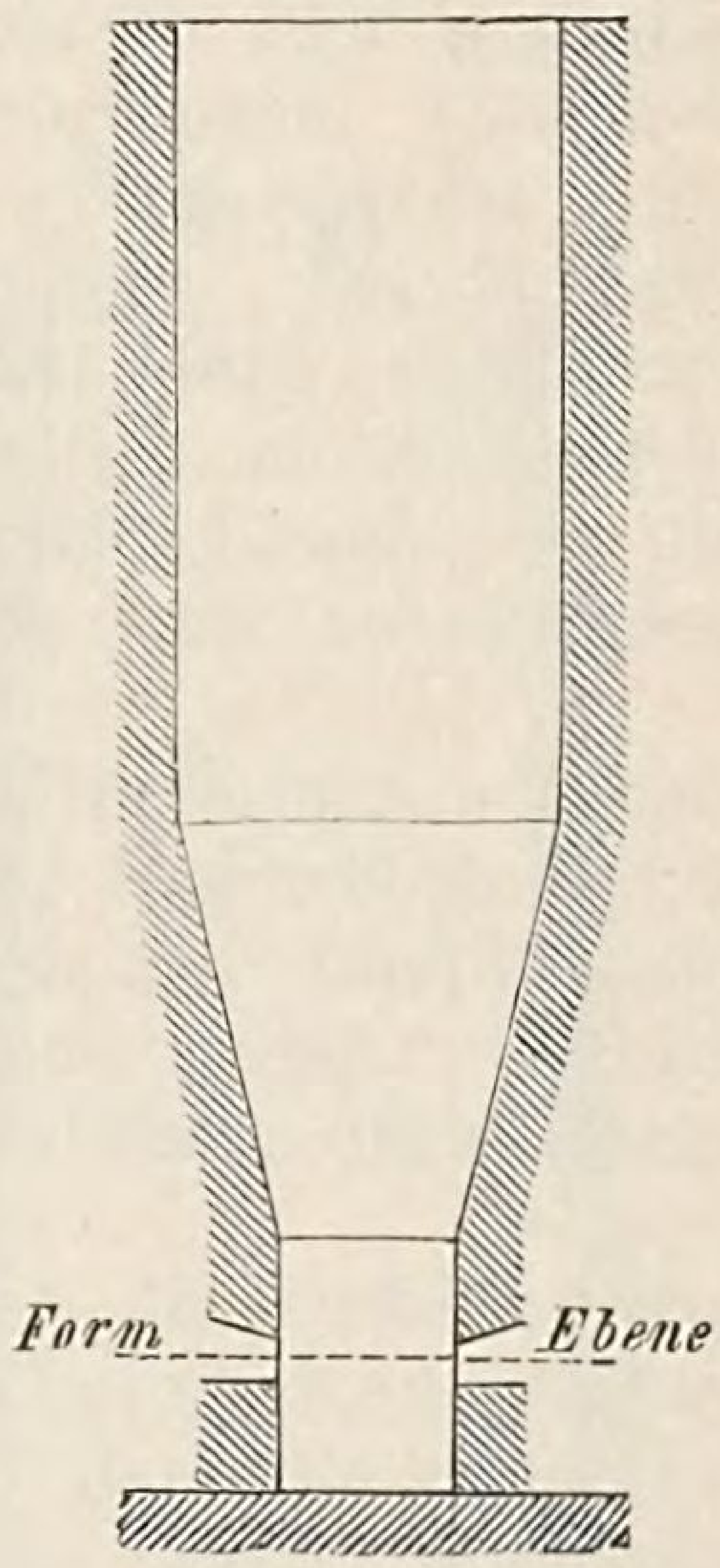


Fig. 82.



Gicht zu für das gleichmässige Niederrücken der festen Körper von Nutzen ist, und jene Ofenform ist daher selten geblieben.

Ein anderer Unterschied in der inneren Form der Hochöfen beruht auf der Einrichtung des Herdes, d. h. des unterhalb der Windformen befindlichen Sammelraums für Roheisen und Schlacke.

Bei einer Gruppe von Oefen, welche man Hochöfen mit geschlossener Brust (auch wohl als Tiegelöfen) nennt, ist der Herd, wie Fig. 83 erkennen lässt, ringsum geschlossen; in der Umfassung, unmittelbar über dem Boden, ist an einer geeigneten Stelle eine ausreichend grosse Oeffnung zum Ablassen des Roheisens angebracht, der Roheisenstich oder das Stichloch, welche durch Sand oder feuerfesten Thon geschlossen gehalten und nur von Zeit zu Zeit geöffnet wird, wenn das „Abstechen" des Roheisens vor sich gehen soll. An einer höher gelegenen Stelle, etwas unterhalb der Formebene und gewöhnlich an einer anderen Seite des Ofens als der Eisenstich, befindet sich eine zweite kleinere Oeffnung, die Schlackenöffnung oder der Schlackenstich, durch welche man die gebildete Schlacke entweder ununterbrochen abfliessen lässt oder von Zeit zu Zeit absticht. Die Lage dieser Schlackenöffnung bezeichnet also die Höhe, bis zu welcher überhaupt die geschmolzenen Massen im Ofen ansteigen können.

Diese Einrichtung wurde bei den ältesten aller Hochöfen, den schon erwähnten Blauöfen, angewendet, und noch um die Mitte des 19. Jahrhunderts nannte man in einzelnen Gegenden die Oefen mit

geschlossener Brust Blauöfen. Das Innere des Gestells und Herds ist bei diesen Oefen nur durch die engen Windformen und den Schlackenstich zugänglich; die Bildung einer dünnflüssigen Schlacke ist nothwendig, damit nicht durch erstarrte Massen Versetzungen im Innern entstehen, welche den Fortgang des Schmelzens in Frage stellen können und sich nur mit Schwierigkeit beseitigen lassen würden.

Fig. 83.

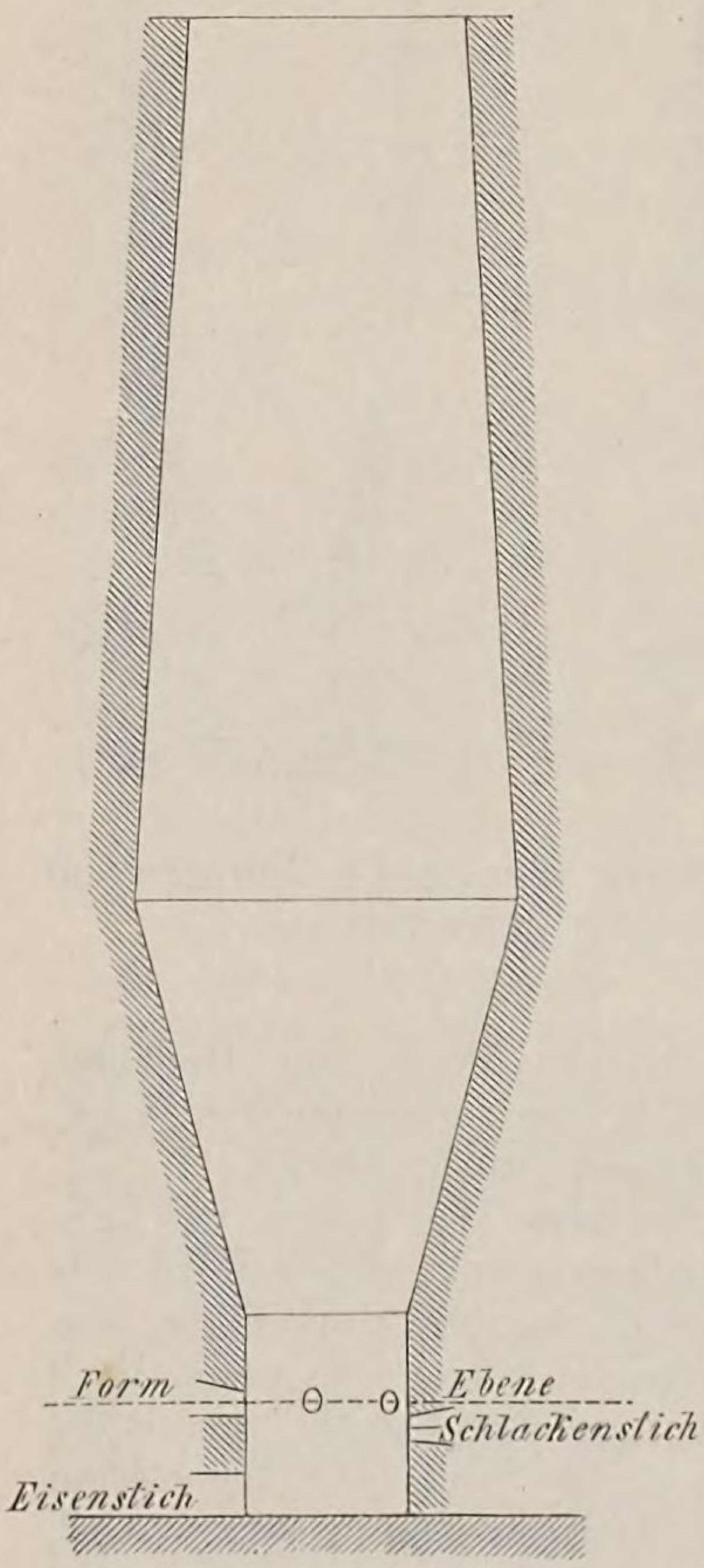
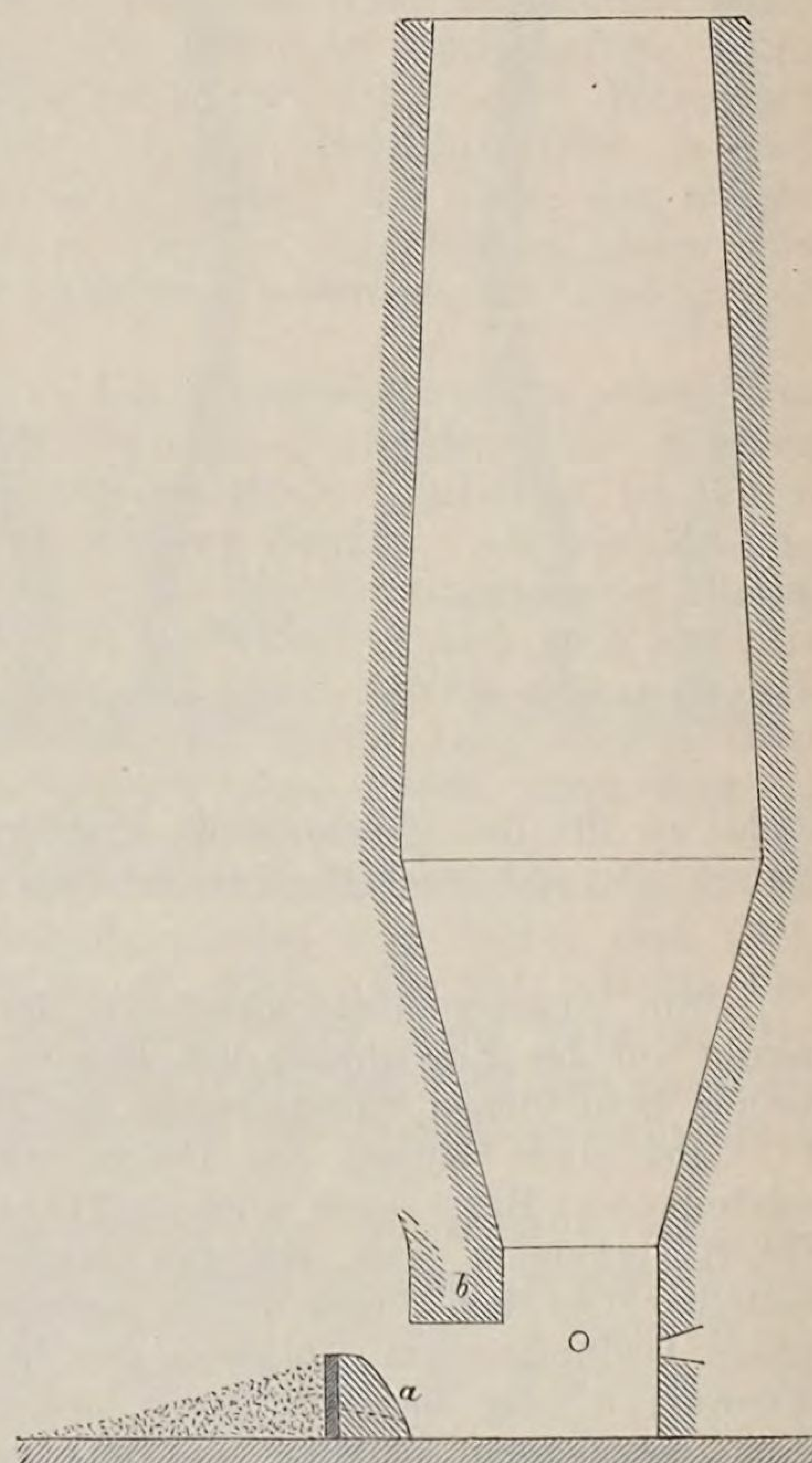


Fig. 84.



Dickflüssige, leicht erstarrende Schlacken entstehen aber vorzugsweise leicht bei dem Betriebe auf Graueisen, welcher, wie schon erläutert wurde, bis zum Beginne dieses Jahrhunderts üblicher war als der auf Weisseisen. Es war daher ein vortrefflicher Gedanke eines unserer Vorfahren im Eisenhüttenwesen — kein Gedenkblatt hat seinen Namen verzeichnet — das Ofeninnere zugänglich zu machen, indem er, wie Fig. 84 zeigt, an der vorderen Seite den Stein *a* herausrückte und zugleich die seitlichen Begrenzungen des Ofenherds so weit nach vorn verlängerte, dass jener Stein wieder zwischen ihnen seine sichere

Stellung fand. Nach wie vor verhindert er das Austreten des Roheisens; aber über seinen Rand hinweg lassen sich jetzt Werkzeuge einführen, um Versetzungen im Innern zu beseitigen. So entstand eine zweite Gruppe der Hochöfen, welche man Hochöfen mit offener Brust nennt; der Stein *a* heisst Wall oder Wallstein. In dem Wallsteine befindet sich an einer Seite das Stichloch für das Roheisen; über seinen obern Rand hinweg fliesst die Schlacke ab oder wird bei mangelnder Dünnflüssigkeit von Zeit zu Zeit abgezogen. Zugleich dient die hier befindliche Schlacke als Sperrflüssigkeit, um das Austreten der Gase oder des Gebläsewindes zu verhindern. Bei flüssiger Schlacke (Laufschlacke) pflegt man, wie in der Abbildung angedeutet ist, vor dem Wallsteine an der Seite, wo das Stichloch sich nicht befindet, aus Sand und Kohlenlösche eine schiefe Ebene — die Schlackentrift — aufzustürzen und in dieser eine Gosse auszusparen, in welcher die Schlacke abfliessen kann.

Damit die flüssige Schlacke nicht bis zu den Windformen ansteige, muss die Oberkante des Wallsteins bei zähflüssiger Beschaffenheit der Schlacke (Betrieb mit Holzkohlen) ein wenig tiefer, bei dünnflüssiger Schlacke wenigstens nicht erheblich höher als jene liegen. Die im Innern des Ofens herrschende Gasspannung treibt alsdann die Schlacke über den Wallstein hinweg.

Den Stein *b* des Gestellmauerwerks, welcher die Oeffnung der Brust von oben abschliesst, nennt man Tümpelstein. Seine Unterkante muss ungefähr in gleicher Höhenlage mit der Oberkante des Wallsteins sich befinden oder darf nur wenig höher liegen, damit die Schlacke ihre Aufgabe als Sperrflüssigkeit erfüllen kann und nicht die Gase des Hochofens dennoch unter dem Tümpelsteine hinweg ihren Weg nach aussen nehmen können.

Die Einrichtung der Oefen mit offener Brust, welche schon gegen Ende des 13. Jahrhunderts erfunden worden sein soll, bewährte sich vortrefflich, und Jahrhunderte hindurch bildeten die Hochöfen dieser Art die Regel, die Oefen mit geschlossener Brust die Ausnahme. Nur wo man aus manganhaltigen Erzen bei dünnflüssiger Schlacke weisses Roheisen erzeugte, wendete man vereinzelt Oefen mit geschlossener Brust an. Die Schlacke liess man in diesem Falle unmittelbar durch eine Oeffnung in einem Steine des Gestells ausfliessen; hierbei konnte es nicht ausbleiben, dass jener Stein bald ausgefressen wurde und häufige Auswechselungen sich erforderlich machten. Schon dieser Uebelstand allein bildete ein schwerwiegendes Hinderniss für die allgemeine Einführung der geschlossenen Brust.

Auch die offene Brust besitzt jedoch ihre Nachtheile. Tümpel- und Wallstein sind Beschädigungen unterworfen und müssen von Zeit zu Zeit ausgewechselt werden, welche Arbeit während des Betriebs nur mit Mühe sich bewerkstelligen lässt; schwerer noch wiegt der Umstand, dass nach dem Ablassen des Roheisens die Oberfläche der Schlacke im Herde sinkt, die Unterkante des Tümpels frei zu liegen kommt und die Hochofengase darunter hinweg ihren Weg nach aussen finden würden, sofern man weiter bliese. Um also die Entstehung einer langen, unter dem Tümpel herausschlagenden Flamme zu vermeiden, welche das Arbeiten vor dem Ofen unmöglich machen würde, muss das

Gebläse während des Abstechens zum Stillstand gebracht werden; dann wird der Herd gereinigt, mit Lösche gefüllt, welche einen vorläufigen Verschluss der Oeffnung zu bilden bestimmt ist, und nun erst kann das Blasen wieder beginnen. Durch diesen längeren Stillstand des Gebläses wird nicht allein unmittelbar die Leistung des Ofens geschmälert, sondern es tritt auch eine Abkühlung des Gestells ein, welche nicht selten Unregelmässigkeiten des Schmelzganges zur Folge hat und durch erhöhten Brennstoffaufwand wieder ausgeglichen werden muss.

Jener Umstand aber, welcher die ursprüngliche Veranlassung zur Einführung der offenen Brust bei Eisenhochöfen gewesen war, fiel mehr und mehr weg, als man anfing, die Hochöfen mit erhitztem Winde zu betreiben. Die Temperatur im Schmelzraume des Ofens stieg; Versetzungen durch erstarrte Massen wurden seltener; die Schlacke wurde stärker überhitzt und dadurch zum freien Abfliessen befähigter. Vorläufig aber blieb noch der schon erwähnte Uebelstand bestehen, dass die Oeffnung im Steine, durch welche bei geschlossener Brust die Schlacke ausfliessen muss, durch die Schlacke selbst rasch erweitert wurde. Durch eine von F. W. Lürmann im Jahre 1867 erfundene Einrichtung ist auch dieser Nachtheil beseitigt worden. Er kleidete die Oeffnung im Steine mit einer durch Wasser gekühlten und dadurch vor rascher Zerstörung geschützten Metallhülse aus, von ihm Schlackenform genannt, durch welche die Schlacke ausfliesst und welche sich auswechseln lässt, wenn sie schadhaft geworden ist.[1]) Ihre Einrichtung ist unten ausführlicher besprochen. Seit dieser Zeit haben in allen Ländern, wo man Roheisen erzeugt, die Hochöfen mit geschlossener Brust jene später eingeführten Oefen mit Tümpel- und Wallstein zum grösseren Theile wieder verdrängt. Eine triftige Veranlassung zur Beibehaltung der letzteren Ofenform liegt nur da vor, wo man durch die Verhältnisse gezwungen ist, strengflüssige, leicht erstarrende Schlacken zu erzeugen, bei Graueisendarstellung mit Holzkohlen aus kieselsäurereichen Erzen und in einigen anderen Fällen.

Der Rauminhalt der Hochöfen.

Von dem Rauminhalte ist unter übrigens gleichen Verhältnissen die Roheisenerzeugung des Hochofens innerhalb eines bestimmten Zeitraumes abhängig. Diese Thatsache bedarf keines Beweises. Je grösser der Rauminhalt ist, desto mehr Erze, Zuschläge und Brennstoffe können innerhalb der gleichen Zeit vorbereitet, geschmolzen, verbrannt werden. Während daher im Anfange dieses Jahrhunderts, so lange der Roheisenbedarf noch verhältnissmässig gering war, die meisten der mit Holzkohlen betriebenen Hochöfen nicht mehr als 6 bis 10 cbm, die damals erst im Entstehen begriffenen Kokshochöfen selten mehr als 50 cbm Inhalt besassen, steigerte man mit der Zunahme des Bedarfs an Roheisen mehr und mehr den Fassungsraum der Hochöfen. Da diese Zunahme des Roheisenbedarfs vorzugsweise durch die Einführung der Eisenbahnen veranlasst wurde, zeigt sich jenes Wachsthum der Ofengrösse vorzugsweise von dem Jahre 1830 an. In den fünfziger Jahren

1) Ueber Erfindung der Schlackenform vergl. „Stahl u. Eisen“ 1891, Seite 553.

pflegte man neu erbauten Kokshochöfen bereits einen räumlichen Inhalt von 120 bis 150 cbm zu geben; 1860 gab es in Schottland und Wales Oefen mit einem Inhalte bis zu 230 cbm, 1861 wurden zu Thornaby drei Hochöfen mit einem Rauminhalte von je 362 cbm errichtet, 1864 steigerte man bei den Hochöfen zu Southbank den Rauminhalt auf 450 cbm, 1866 bei den Hochöfen zu Tees-Side auf 566 cbm, 1867 in Norton auf 736 cbm, 1868 in Middlesborough auf 815 cbm und 1870 in Ormsby auf 1165 cbm.

Eine fernere Steigerung der Grösse der Hochöfen hat nicht stattgefunden. Die Erfahrung lehrte, dass, wenn auch der grössere Ofen die grössere Erzeugungsfähigkeit besitzt, doch die letztere nicht in dem gleichen Maasse mit dem Rauminhalte zunimmt. Der kleinste Ofen liefert im Allgemeinen die bedeutendste Erzeugung auf 1 cbm seines räumlichen Inhalts. Während in den kleinen, im Anfang dieses Jahrhunderts benutzten Hochöfen auf je 1 cbm Rauminhalt mitunter mehr als 500 kg Roheisen täglich erzeugt wurden, ist bei den jetzigen grösseren Oefen die auf die Einheit ihres Rauminhalts bezogene Tagesleistung häufig niedriger, obschon seitdem durch Einführung der Winderhitzung die Erzeugungsfähigkeit der Hochöfen wesentlich gefördert worden ist. Gerade jene sehr grossen Hochöfen vermögen auf je 1 cbm Rauminhalt bisweilen nicht mehr als etwa 150 kg Roheisen täglich zu liefern.[1])

Die Thatsache findet ihre Erklärung in dem Umstande, dass mit der Grösse des Ofens die Widerstände zunehmen, welche die aufsteigenden Gase beim Durchdringen der Schmelzsäule finden, eine Erhöhung der Windspannung aber, durch welche jene Widerstände überwunden werden müssen, nicht immer in dem gleichen Maasse thunlich ist. Die Einrichtung der Gebläse wird schwieriger, die Windverluste werden grösser, der Arbeitsverbrauch zur Lieferung der gleichen Windmenge steigt. Der grössere Ofen bekommt demnach im Verhältnisse zu seinem Rauminhalte weniger Wind als der kleinere, und in dem gleichen Verhältnisse wird weniger Brennstoff verbrannt und weniger Roheisen erzeugt.

Ein anderes Ziel, welches man bei jener Vergrösserung der Hochöfen im Auge hatte, war die Verringerung des Brennstoffverbrauchs für Erzeugung einer bestimmten Menge Roheisen. Nun ist es unbestreitbar, dass in einem grösseren Ofen die Wärmeverluste verhältnissmässig unbedeutender sind als in einem kleineren, dass mithin der Brennstoffverbrauch niedriger ausfallen wird, wenn man einen allzu kleinen Ofen vergrössert; aber diese Abnahme des Brennstoffverbrauchs hält ebenfalls nicht gleichmässig Schritt mit jener Zunahme des Rauminhalts, sondern wird immer unbedeutender, je grösser der letztere bereits war. Je weniger der wirkliche Brennstoffverbrauch den theoretisch erforderlichen übersteigt, desto unbedeutender muss die Ersparung ausfallen, welche durch eine fernere Vergrösserung des Ofens zu erreichen ist.

Mit der Grösse des Ofens aber steigern sich die Anlage-, Unterhaltungs- und Betriebskosten. Die grössere Ofenhöhe bedingt eine ver-

1) Dass übrigens die Roheisenerzeugung eines Hochofens nicht allein durch seine Grössenverhältnisse, sondern auch durch verschiedene andere Dinge — Eisengehalt der Beschickung, Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens u. a. m. — bedingt ist, möge hier nur kurze Erwähnung finden. Ausführliches hierüber bei Besprechung der Betriebsergebnisse.

mehrte mechanische Arbeit zum Hinaufschaffen der Schmelzmaterialien und zur Verdichtung der Gebläseluft. Es muss ein Maass der Ofengrösse geben, dessen Ueberschreiten mehr Nachtheil als Nutzen bringt. Auf dem europäischen Festlande, insbesondere in Deutschland, pflegt man für den Betrieb mit Koks die Oefen in der Jetztzeit nicht kleiner als 300 cbm und nicht erheblich grösser als 550 cbm zu bauen; die meisten nordamerikanischen Hochöfen für den Betrieb mit Koks oder Anthracit besitzen gleichen Rauminhalt wie die deutschen, einige allerdings bis 700 cbm oder noch etwas darüber;[1]) neuere Hochöfen im Clevelandbezirke haben 850 cbm, selten weniger als 600 cbm Inhalt.[2])

Zum Theil muss der Rauminhalt des Ofens von der Beschaffenheit des zur Verwendung stehenden Brennstoffs abhängig sein. Je leichter verbrennlich und je kleinstückiger dieser ist, desto leichter wird er schon im oberen Theile des Hochofens durch die in dem aufsteigenden Gasstrome enthaltene Kohlensäure verbrannt (Seite 45), ohne seine Aufgabe im Hochofen erfüllt zu haben, desto weniger ist eine lange ausgedehnte Berührung mit dem Gasstrome erspriesslich, bei desto kleineren Abmessungen wird die Grenze erreicht, wo eine fernere Vergrösserung keinen Nutzen mehr bringt, insbesondere nicht mehr zur Ersparung an Brennstoff beizutragen vermag. Daher baut man Holzkohlenhochöfen selten grösser als mit 100 cbm Inhalt; die meisten europäischen Holzkohlenhochöfen sind erheblich kleiner. Verhältnissmässig grosse Holzkohlenhochöfen finden sich in Nordamerika.[3])

Auch die Beschaffenheit der zu verhüttenden Erze spricht hierbei mit. Feinstückige, dichtliegende Erze lassen die Anwendung niedrigerer und deshalb auch ihrem Rauminhalte nach kleinerer Oefen zweckmässig erscheinen; für grobstückige Erze, welche den Gasen leichter als jene Durchgang gewähren, sind grössere Oefen geeigneter.

Die inneren Abmessungen der Hochöfen.

Auf Seite 391 bis 393 wurden verschiedene Anordnungen der inneren Form der Hochöfen geschildert. Unmöglich ist es, eine einzige Form als die unter allen Umständen geeignetste zu bezeichnen. Verschiedene Hochofenformen können thatsächlich unter übrigens gleichen Verhältnissen gleich befriedigende Erfolge liefern. Ein und derselbe Hochofen bleibt, auch wenn durch fortgesetzten Betrieb seine inneren Abmessungen sich erheblich verändert haben, doch oft noch lange Zeit gleich gut als im Anfange benutzbar. Immerhin aber müssen die gegenseitigen Verhältnisse der Abmessungen eines Hochofeninnern, wie sich zum Theil schon aus den früheren Mittheilungen ergiebt und durch die Erfahrungen des Betriebs bestätigt wird, innerhalb gewisser Grenzen liegen, wenn befriedigende Erfolge erreicht werden sollen.

Verhältniss zwischen Durchmesser und Höhe der Oefen. Sowohl durch eine allzu beträchtliche Höhe des Hochofens im Ver-

1) Der grösste amerikanische Hochofen, zu Lorain in Ohio, 1897 erbaut, hat 775 cbm Inhalt („Stahl und Eisen“ 1897, Seite 853).

2) Journal of the Iron and Steel Institute 1887, I, p. 95; 1894, I, p. 78.

3) Beispiele: „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 351.

hältnisse zum Ofendurchmesser (im Kohlensack) als umgekehrt durch einen zu reichlichen Durchmesser bei gegebener Ofenhöhe werden nachtheilige Einwirkungen auf den Schmelzgang hervorgerufen. Bei engem Durchmesser und grosser Höhe sind die Widerstände, welche die Gichten bei ihrem Niedergange und die Gase bei ihrem Aufsteigen finden, beträchtlicher; eine höhere Windspannung ist erforderlich, um die gleiche Menge Wind als bei einem niedrigen Ofen einzuführen, und diese stärkere Windspannung kann, wie schon oben hervorgehoben wurde, nur durch vermehrte Arbeit der Betriebsmaschine hervorgebracht werden. Ist der Ofen aber zu weit, so treten die Unregelmässigkeiten stärker hervor, welche der Niedergang der Schmelzmaterialien durch ihre Reibung an den Wänden erleidet. In der Mitte des Ofenquerschnitts, wo diese Reibung nicht stattfindet, tritt ein starkes Voreilen der Körper ein. Die dichteren Bestandtheile der Schmelzsäule, die Erze, rollen nach der Mitte hin, hier sich anhäufend und den Gasen den Durchgang erschwerend, die Kohlen bleiben an den Wänden. Die gleichmässige Einwirkung der Gase auf die Erze wird dadurch beeinträchtigt. Je grösser der Ofenquerschnitt ist, desto stärker eilen die in der Mitte befindlichen Körper voran, desto dichter liegen sie in der Mitte, desto leichter werden dadurch Störungen des regelmässigen Schmelzgangs veranlasst.

Auf Erfahrung fussend pflegt man das Verhältniss der Höhe zum Kohlensackdurchmesser selten kleiner als 3 und selten grösser als 4,5 zu nehmen; bei den meisten neueren Oefen beträgt es 3,5 bis 4. Für den Brennstoffverbrauch ist eine schlanke Form des Hochofenprofils (grosse Höhe bei geringem Durchmesser) eher günstig als nachtheilig; bei Hochöfen, in welchen ausschliesslich Weisseisen dargestellt werden soll, sind grosse Durchmesser weniger nachtheilig als bei solchen für Graueisendarstellung. Die grössten bis jetzt gebauten Hochöfen haben 30 m Höhe bei 9,5 m Kohlensackdurchmesser, die meisten der jetzt bestehenden Kokshochöfen 18 bis 24 m Höhe bei 5 bis 6,5 m Durchmesser.

Gichtdurchmesser. Der Einflüsse, welche durch eine zu enge wie durch eine zu weite Gicht auf den Schmelzgang ausgeübt werden, ist bereits oben gedacht worden. In den meisten Fällen verhält sich der Kohlensackdurchmesser zum Gichtdurchmesser annähernd wie 1,4 : 1.

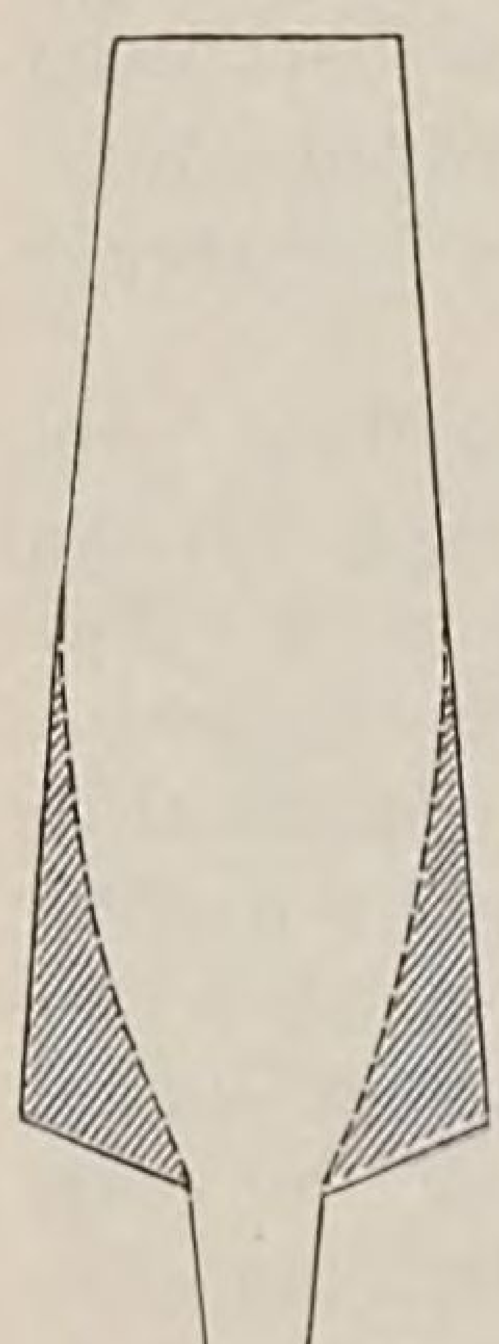
Rastwinkel und Lage des Kohlensacks. Je steiler der Rastwinkel ist, desto allmählicher findet der Uebergang zwischen der weitesten und der engsten Stelle des Ofens, dem Kohlensack und der Formebene, statt, desto gleichmässiger wird im Allgemeinen der Niedergang der Schmelzmaterialien sich vollziehen. Man pflegt daher neueren Hochöfen Rastwinkel von mindestens 70 Graden, häufig von 75 Grad oder etwas darüber zu geben. Von der Grösse des Rastwinkels und der Höhenlage jener Stelle, wo die Rast an das Gestell sich anschliesst, hängt die Höhenlage des Kohlensacks ab. Gewöhnlich beträgt diese Höhe über dem Boden $^1/_3$ bis $^1/_2$ der ganzen Ofenhöhe; eine höhere Lage würde dem regelmässigen Verlaufe des Hochofenschmelzens nicht günstig sein.

Dass übrigens auch ganz flache, tellerartige Rasten, welche noch in den sechziger Jahren auf mehreren Eisenwerken des Harzes seit Alters her üblich waren und vielleicht jetzt noch hier und da zur

Anwendung kommen (Fig. 85), unter Umständen ganz gute Erfolge geben können, unterliegt keinem Zweifel. Auf der flachen Rast baut sich, wie durch die schräge Strichlage in der Skizze angedeutet ist, aus Kohlen ein todter Mantel auf, innerhalb dessen die Schmelzsäule niedergleitet; es entsteht eine natürliche Rast, deren Form von der Beschaffenheit der Materialien abhängig ist und gerade deshalb dem Zwecke recht wohl entsprechen kann. Am wenigsten gut haben sich mittelsteile Rasten (40 bis 60 Grade) bewährt, welche um die Mitte dieses Jahrhunderts ziemlich üblich waren.

Durchmesser des Ofens vor den Formen; Höhe des Gestells. Die Nachtheile eines zu engen und hohen Gestells wurden bereits oben besprochen. Mit je grösserer Geschwindigkeit (Spannung) der Wind in den Ofen geführt wird, desto weiter kann der Ofendurchmesser in der Formebene sein. Bei den meisten Oefen findet man das Verhältniss des Ofendurchmessers in der Formebene zu dem Kohlensackdurchmesser wie 1 : 1,6 bis 1 : 2; engere Durchmesser als in dem Verhältnisse 1 : 2 würden eine Beeinträchtigung der Leistung des Ofens herbeiführen. Selten geht auch bei den grossen Oefen der Durchmesser über 3,5 m hinaus.

Fig. 85.



Bei der Mehrzahl der jetzigen Hochöfen beginnt die Rast unmittelbar oder in geringer Höhe über der Formebene; in der Regel beträgt die Gesammthöhe des Gestells vom Boden ab ungefähr $^1/_{10}$ bis $^1/_8$ der ganzen Ofenhöhe.

Anordnung und Zahl der Windformen. Von der Höhe der Formen über dem Boden ist die Menge des Roheisens abhängig, welche angesammelt werden kann, ehe zum Abstiche geschritten wird; aber für die Vorgänge im Hochofen selbst, Reduction und Schmelzung, geht diese Höhe verloren, und je höher die Formen liegen, desto schwieriger ist es, den Boden des Herds genügend warm zu erhalten, damit nicht das angesammelte Roheisen theilweise erstarre. Je grösser die Erzeugung des Hochofens ist, desto höher können die Formen liegen; bei Weisseisendarstellung deshalb im Allgemeinen höher als beim Betriebe auf Graueisen oder Eisenmangan; bei Oefen mit geschlossener Brust höher als bei solchen mit offener Brust. Bei den meisten grösseren Hochöfen findet man diese Abmessung zwischen 1,5 bis 2,5 m, bei kleinen Oefen für Holzkohlenbetrieb und mit offener Brust bisweilen nicht über 0,5 m.

In alter Zeit, selbst noch in der Mitte dieses Jahrhunderts, waren Holzkohlenöfen mit einer einzigen Windform nicht selten. Mit dem Ofendurchmesser aber muss die Zahl der Windformen zunehmen. Man befördert durch Vertheilung des Windes auf mehrere Formen die Gleichmässigkeit der Verbrennung innerhalb des Ofenquerschnitts, und man beschleunigt die Verbrennung, indem man die Oberfläche des eintretenden Windes vergrössert, also die Berührung mit dem Brennstoff erleichtert. Der Raum, wo noch freier Sauerstoff oder Kohlensäure, die im ersten Augenblicke gebildet sein könnte, sich finden, wird durch Anwendung von mehreren Formen auf engere Grenzen beschränkt. Ein rasches

Verschwinden allen freien Sauerstoffs wie der Kohlensäure ist für einen gedeihlichen Verlauf des Hochofenschmelzganges unerlässlich.

Aus diesem Grunde wendet man in der Jetztzeit auch bei den kleinsten Hochöfen mindestens zwei, häufiger drei Windformen an; bei grösseren Oefen findet man fünf bis zwölf Formen, mitunter noch darüber.[1]) Eine Grenze für die Vermehrung der Formen ist durch den Umstand gegeben, dass die Durchbrechung des Gestells durch die Formöffnung immerhin eine Schwächung seiner Standfestigkeit zur Folge hat; mit anderen Worten, dass zwischen den einzelnen Formen ein ausreichend breiter Körper zum Tragen der darüber befindlichen Theile bleiben muss, und dass der Raum rings um das Gestell herum durch allzu viele Düsenständer, welche den Formen den Wind zuführen, leicht beengt wird. Man erhält in den meisten Fällen eine passende Zahl, wenn man den Oefen so viel Oeffnungen giebt, als der Umfang des Ofeninnern innerhalb der Formenebene in Metern beträgt (also z. B. bei einem Durchmesser von 3 m oder $3 \times 3{,}14 = 9{,}42$ m Umfang

Fig. 86.

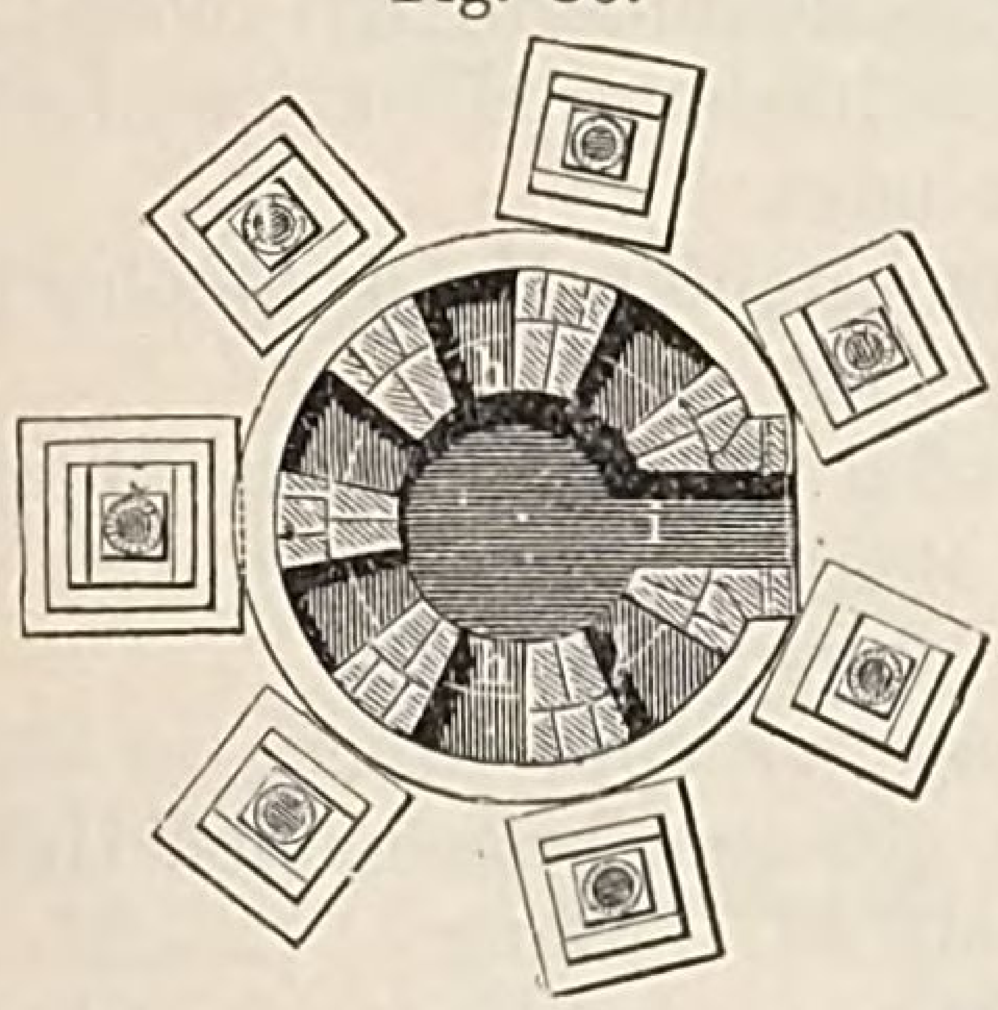
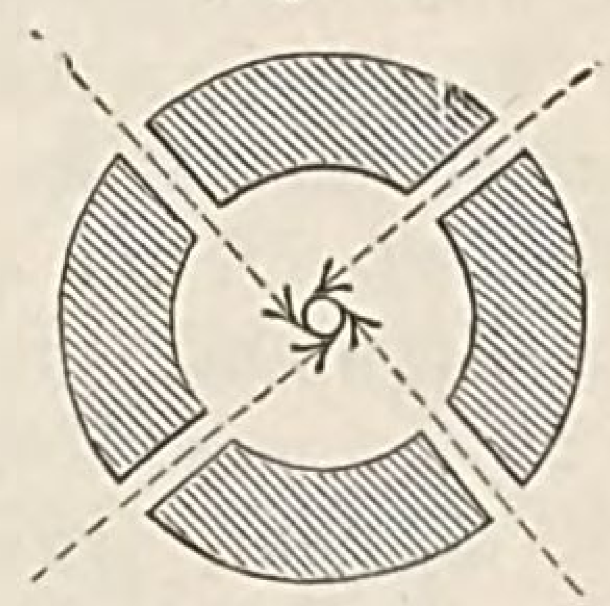


Fig. 87.



9 bis 10 Oeffnungen, eine dieser Oeffnungen aber nicht für die Einlegung einer Windform, sondern für die Anbringung des Schlackenabflusses oder für die Einrichtung der offenen Brust bestimmt.

Nicht ohne Belang ist auch die Anordnung der Formen gegen einander. Die einfachste und für die Gleichmässigkeit der Windvertheilung vortheilhafteste Anordnung würde sich zwar ergeben, wenn sie alle in gleichem Abstande von einander sich befänden; die Rücksicht auf die äusseren Theile des Hochofens, sowie auf die Lage des Herds und Wallsteins bei offener Brust gestattet jedoch nicht immer, genau in dieser Weise zu verfahren. Manche Hochofenleute sehen es auch nicht gern, wenn die eine Form genau in der verlängerten Richtung der gegenüberliegenden sich befindet, damit nicht die von entgegengesetzter Richtung gegen einander treffenden Windströme sich gegenseitig stauen. Der Fall würde eintreten, wenn man eine gerade Anzahl Oeffnungen gleichmässig in dem Umfange vertheilen und die Formen genau radial einlegen wollte. Der Nachtheil wird vermieden, wenn man eine ungerade Zahl Oeffnungen (drei, fünf, sieben) gleichmässig oder eine gerade Zahl ungleichmässig vertheilt. Die Abbildung Fig. 86,

1) Für zwei Hochöfen zu Duquesne waren je 20 Windformen geplant („Stahl und Eisen“ 1897, Seite 293). Ob diese ungewöhnlich grosse Zahl sich bewährt hat, ist nicht bekannt geworden.

einen wagerechten Schnitt in der Formebene eines Hochofens darstellend, kann die erste Anordnung veranschaulichen. Hier sind sechs Oeffnungen *hh* für ebenso viele Windformen angebracht; *i* ist eine siebente Oeffnung, welche durch den Tümpel abgedeckt und vorn durch den Wallstein geschlossen wird (offene Brust).

Im Uebrigen lässt sich, auch wenn die Formöffnungen einander gegenüberstehen, doch jene Gefahr einer Stauung der Windströme verhüten, wenn man die Formen selbst und die Düsen (die Ausströmungsenden der Windleitung) nicht radial, sondern derartig einlegt, dass ihre verlängerte Richtung nicht genau das Ofenmittel trifft. Fig. 87 lässt diese Anordnung erkennen.

Von der Einrichtung der Formen selbst, d. h. der metallenen Hülsen, welche in die Formöffnungen eingesetzt werden, wird später die Rede sein.

Beispiele der inneren Form und Grösse der Hochöfen.

Um dem Leser ein deutlicheres Bild der Abweichungen in der Form und den Abmessungen des Hochofeninnern zu geben, sind in Fig. 88 bis 96 die inneren Umrisse verschiedener Hochöfen der Jetztzeit nach gleichem Maassstabe ($^1/_{333}$) gezeichnet.

Fig. 88 ist ein im Jahre 1895 zugestellter Holzkohlenhochofen zu Wärtsilä in Finnland. Rauminhalt 70 cbm.

Fig. 89 ist ein Holzkohlenhochofen zu Müsen im Siegenschen, Rauminhalt 63 cbm. Die Form des oberen Theils ist durch die Einrichtung des Gasfangs bedingt (vergl. unten Fig. 120).

Fig. 90 ist ein Holzkohlenhochofen zu Vordernberg in Steiermark, 1895 in Betrieb gesetzt und einer der grössten bestehenden Holzkohlenöfen; Inhalt 113 cbm. Der obere Theil ist Gasfang.

Fig. 91 ist ein Kokshochofen zu Charlottenhütte im Siegenschen. Inhalt 250 cbm.

Fig. 92 ist Kokshochofen Nr. 1 zu Jlsede (Seite 23), 1898 neu zugestellt. Inhalt 400 cbm.

Fig. 93 ist Kokshochofen Nr. 5 zu Hoerde, 1898 neu zugestellt. Inhalt 500 cbm.

Fig. 94 ist ein Anthracithochofen zu Dowlais in Wales, Inhalt 390 cbm. (Iron and Coal Trades Review, 6. August 1897; „Stahl und Eisen“ 1897, S. 1059.)

Fig. 95 ist Kokshochofen Nr. 6 der Newport Iron Works bei Middlesborough, 1897 angeblasen. Inhalt 760 cbm.

Fig. 96 ist ein nordamerikanischer Kokshochofen, zur Zeit im Betriebe. Inhalt 740 cbm. Der Name des betreffenden Werks soll dem Wunsche der Werksleitung gemäss ungenannt bleiben.

Einige Ergänzungen finden diese Darstellungen durch die unten gegebenen Abbildungen vollständiger Hochöfen (Fig. 107, 108, 109).

3. Der Bau der Hochöfen.

Alte Hochöfen mit Rauhgemäuer und eingebautem Gestell.

Auf der Ueberzeugung fussend, dass ein Ofen, in welchem eine so beträchtliche Wärmemenge entwickelt wird und eine so hohe Tempe-

Anmerkung: Die Linie FE bedeutet Formenebene

Fig. 88.

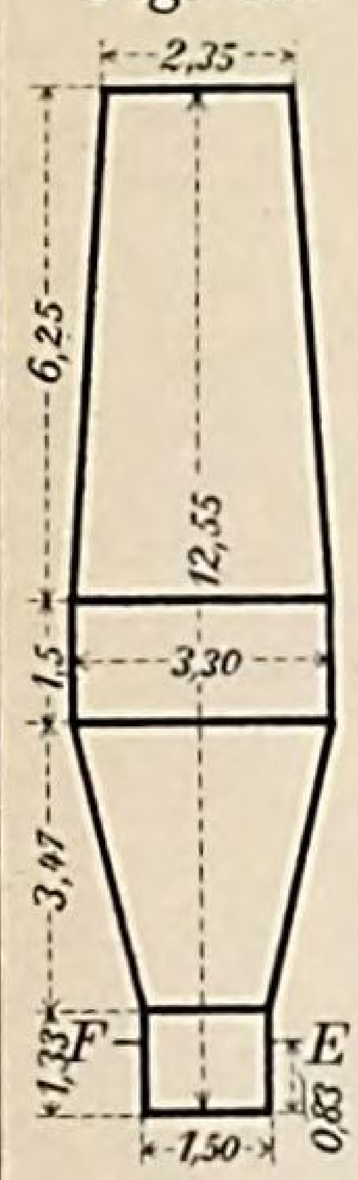


Fig. 89.

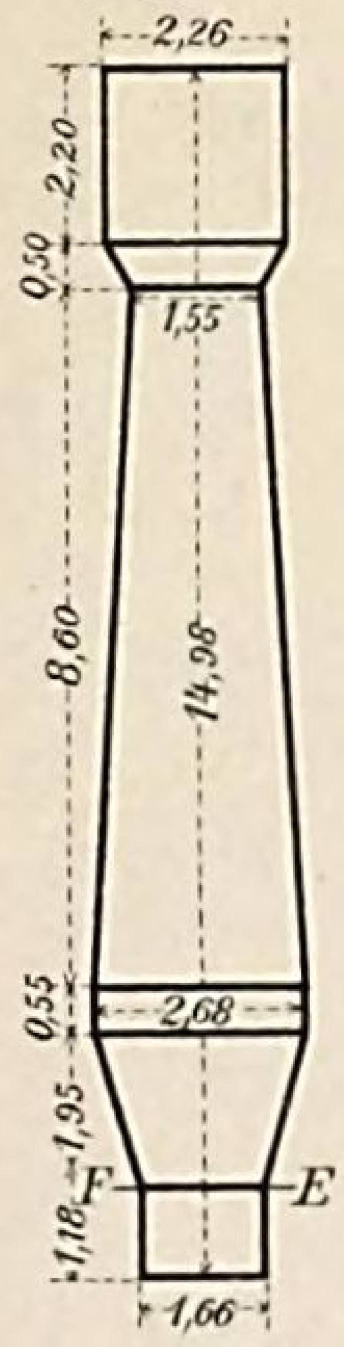


Fig. 90.

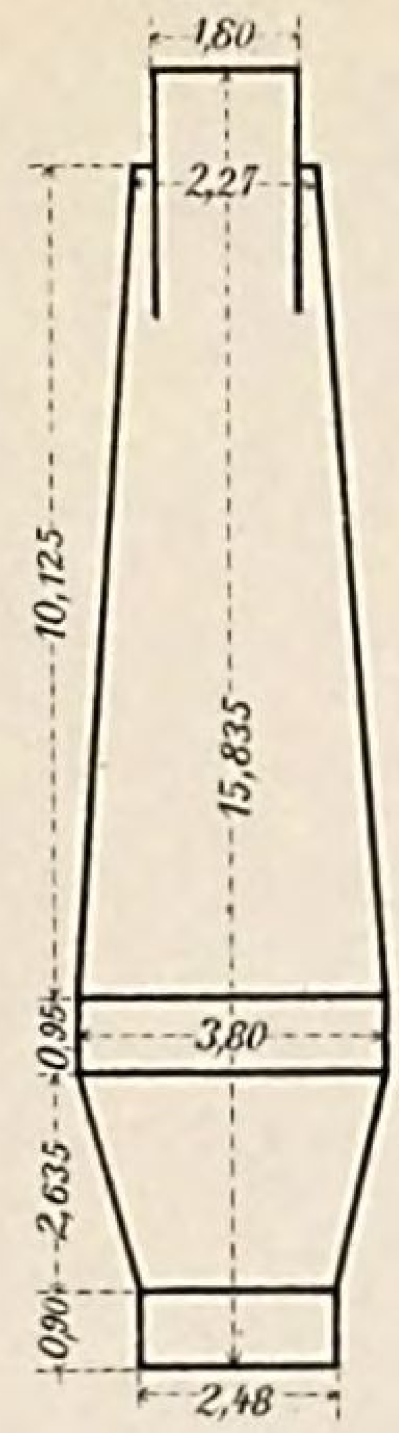


Fig. 91.

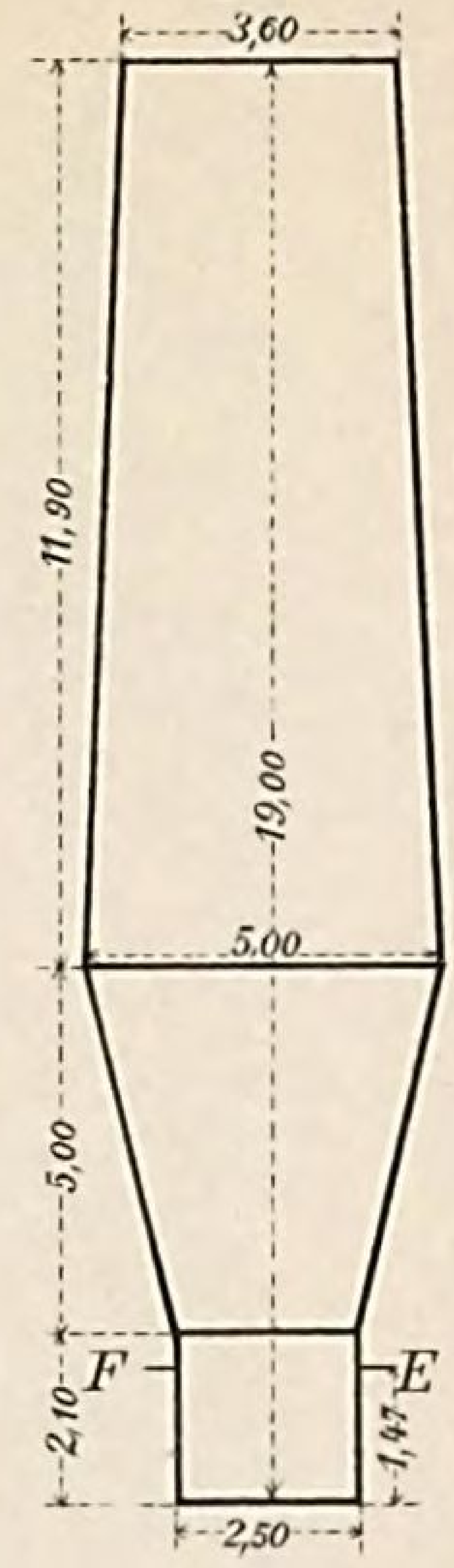


Fig. 92.

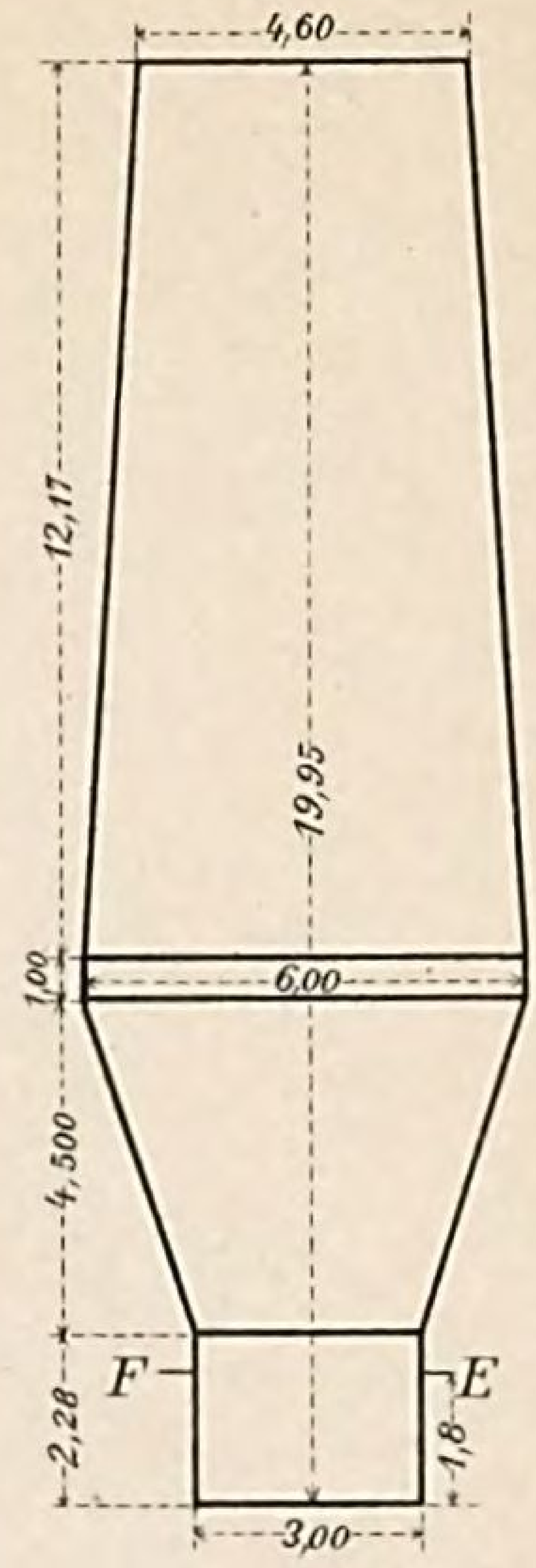


Fig. 93.

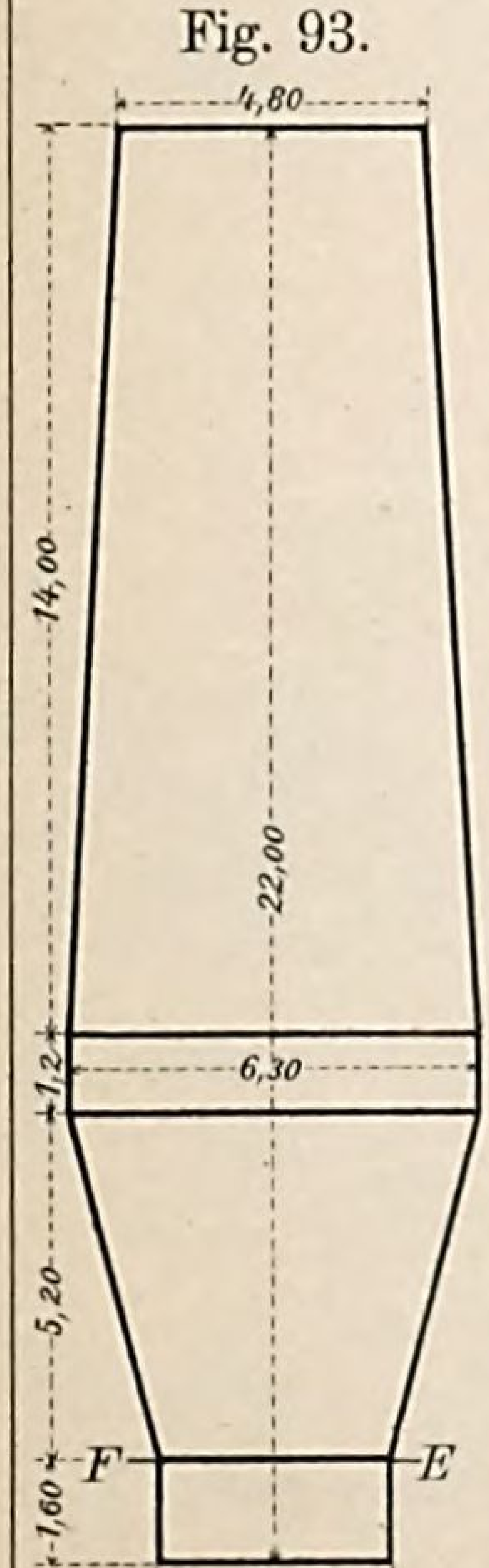


Fig. 94.

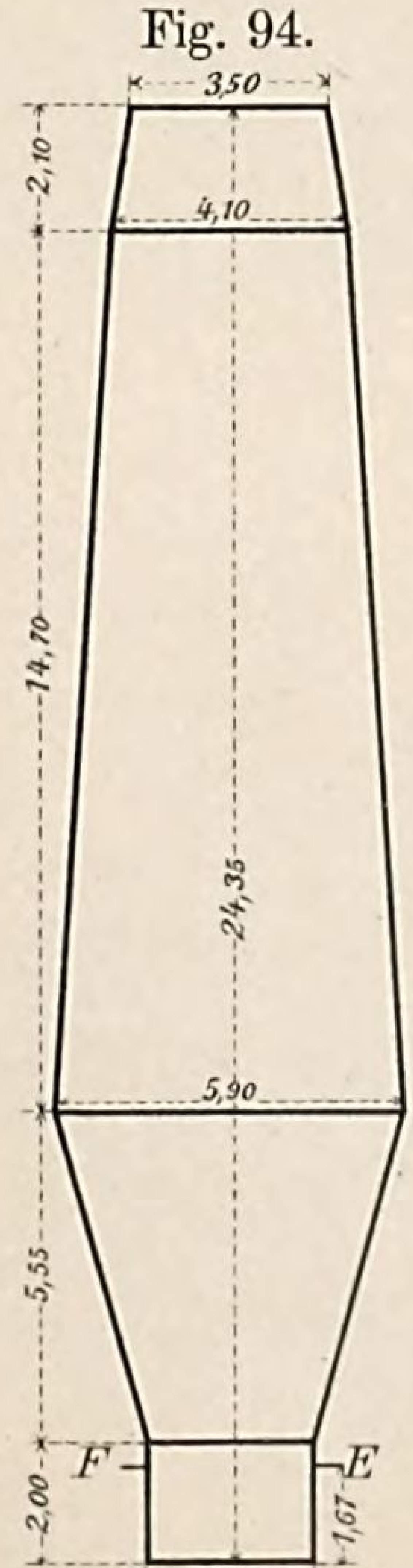


Fig. 95.

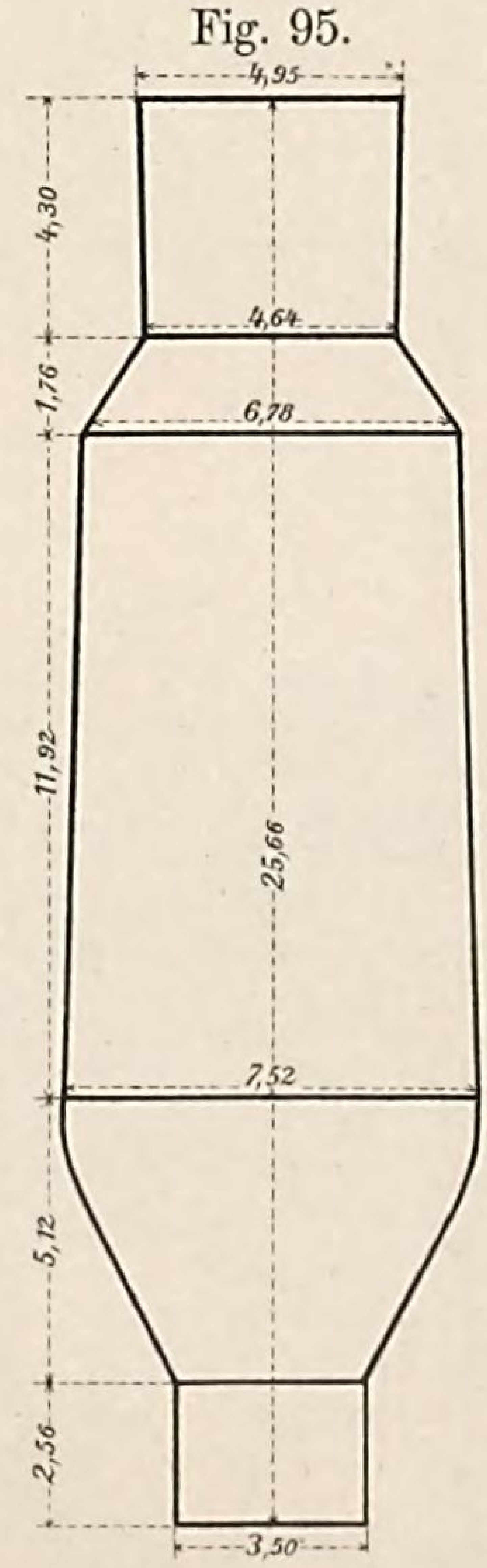
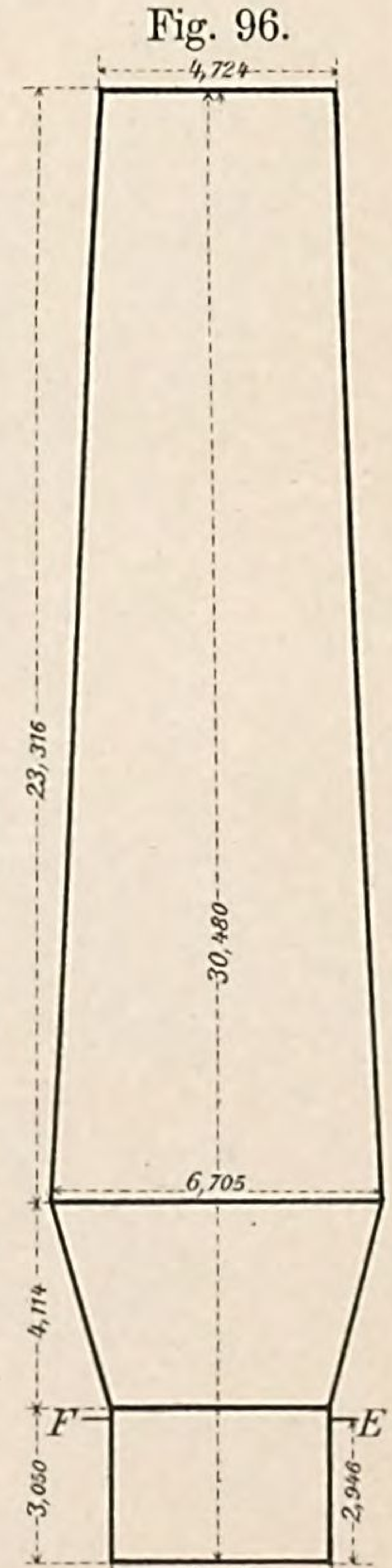


Fig. 96.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

Hochofenanlage im Anfange des 18. Jahrhunderts.

Fig. 97.

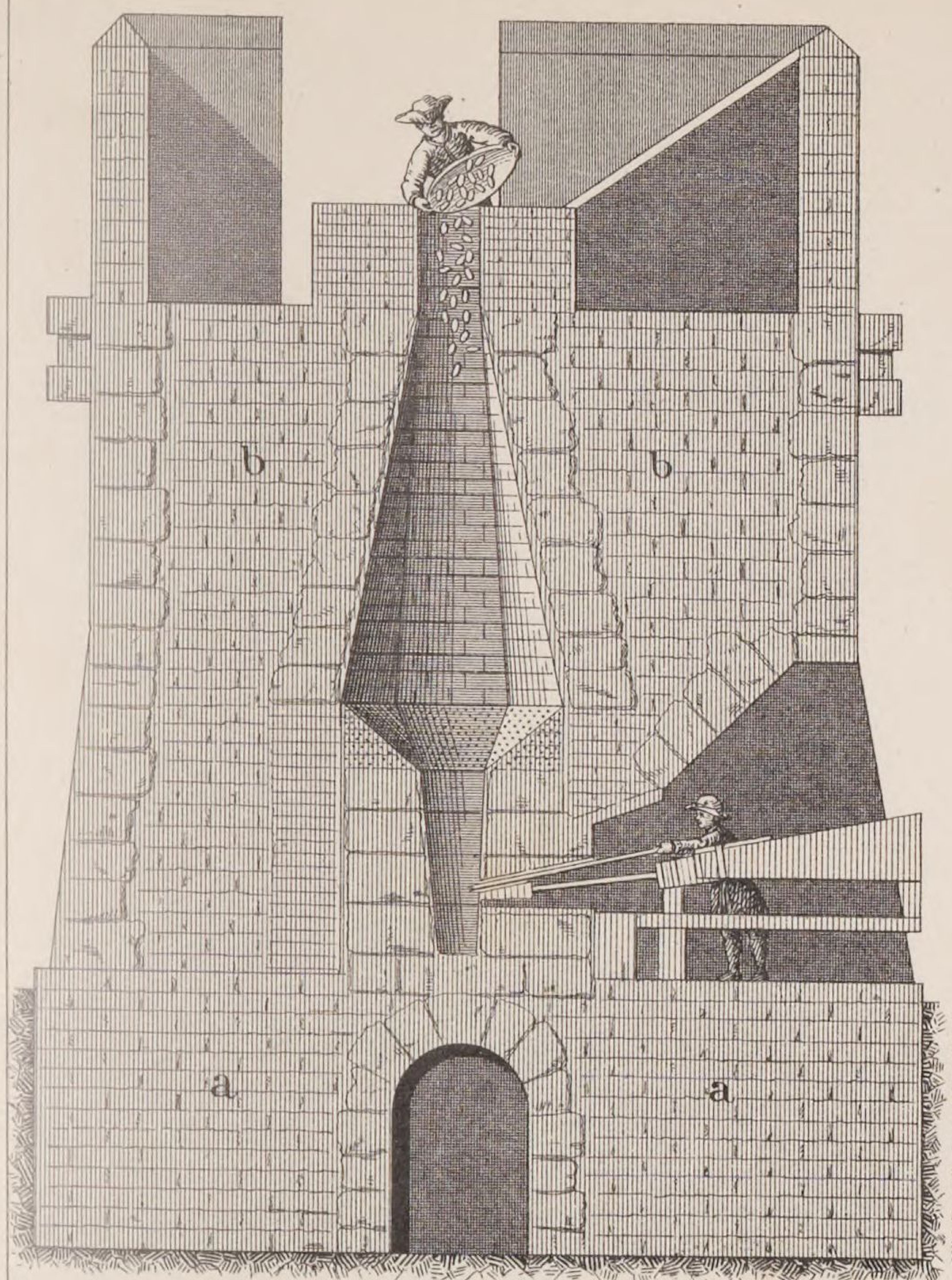


Fig. 98.

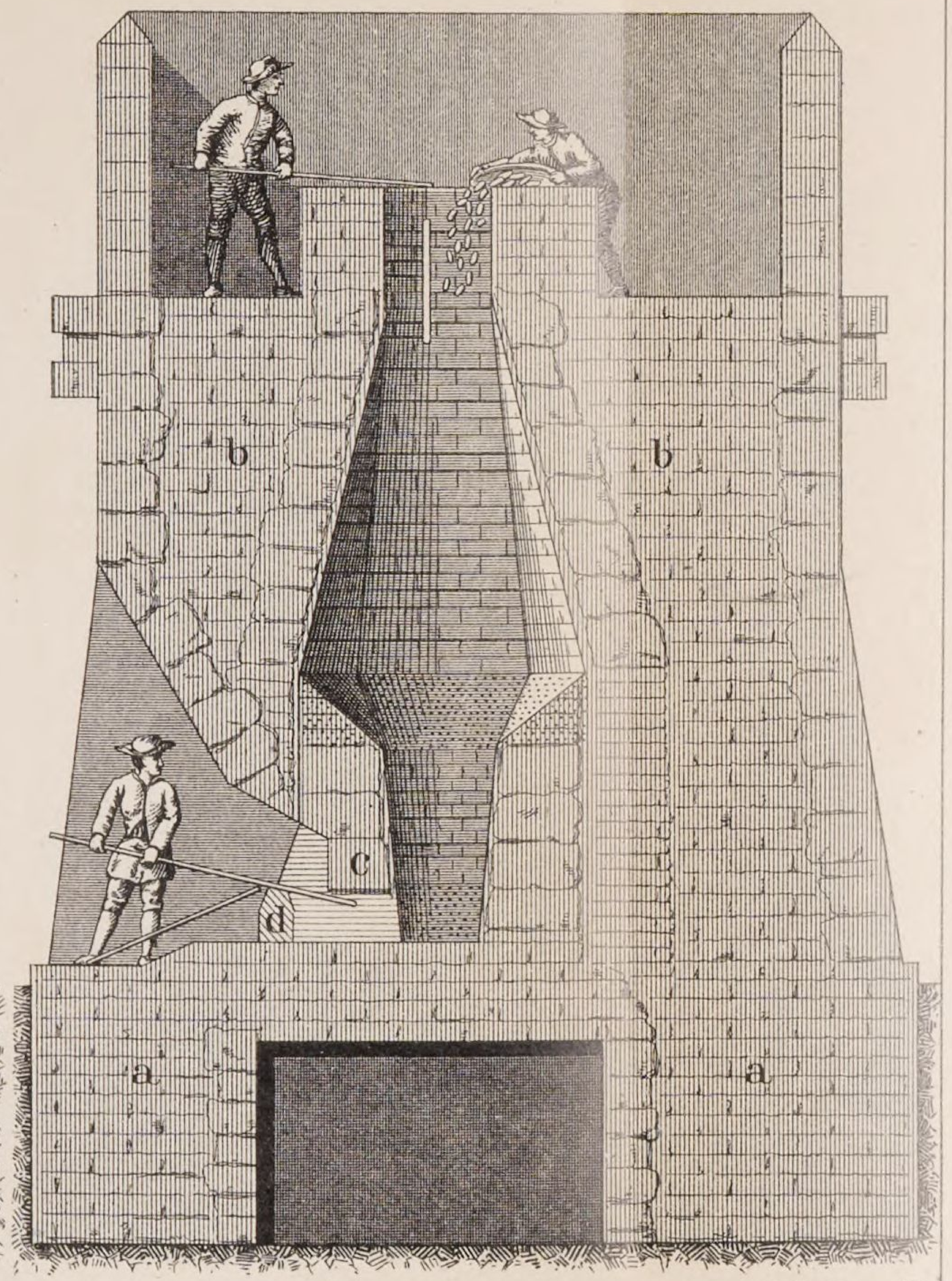
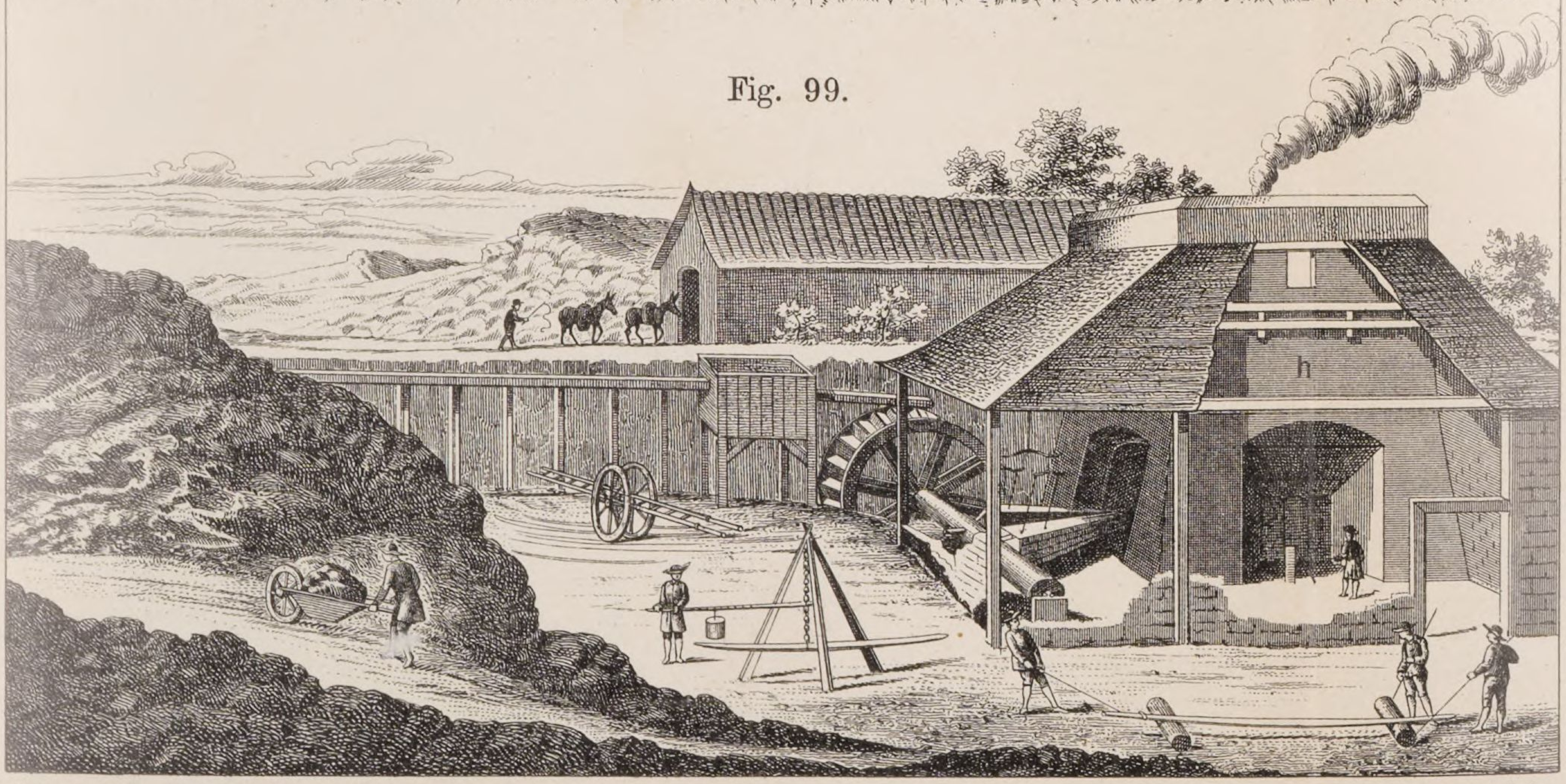


Fig. 99.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

ratur erzeugt werden muss, wie in dem Eisenhochofen, nur dann seinen Zweck erfüllen könne, wenn er vor Wärmeverlusten an die umgebende Luft thunlichst geschützt sei, umgaben unsere Vorfahren den Hochofen mit einer dicken Hülle von Mauerwerk, in welcher nur die eben erforderlichen Oeffnungen für die Zuleitung des Windes und die Wartung der Formen, sowie für das Ablassen des Roheisens und der Schlacke ausgespart waren. Die Abbildungen Fig. 97 und 98 zeigen einen solchen Eisenhochofen aus dem Jahre 1716;[1]) ähnlich wird die Bauart auch bereits Jahrhunderte früher gewesen sein. Auf dem kräftigen, zum grössten Theile seiner Höhe im Erdboden steckenden Unterbau *a* ist das mehrere Meter starke Rauhgemäuer *b* aufgeführt, äusserlich vierseitig und den eigentlichen Ofen umschliessend. Es hat zwei Durchbrechungen, die eine, in Fig. 97 sichtbar, für die Anbringung der Windleitung, die andere (Fig. 98) für die Herrichtung der offenen Brust. *c* ist der Tümpelstein, *d* der Wallstein. In dieses Rauhgemäuer wurde nun das den Ofen unmittelbar einschliessende Mauerwerk, aus den Steinen des Schachts, der Rast und des Gestells bestehend, eingesetzt. Die Abbildungen lassen erkennen, dass der Ofenschacht, ohne die Rast und das Gestell zu belasten, vom Rauhgemäuer und Unterbau getragen wurde. Das Einsetzen der Gestell- und Raststeine erfolgte erst, wenn der Schacht fertig war, wie es heute noch üblich ist.

Zur Herstellung des Schachts und der Zustellung pflegte man Quadersandsteine zu benutzen; dem Querschnitte des Ofeninnern aber gab man vierseitige, häufig rechteckige Form (bei dem abgebildeten Ofen rechteckige mit gebrochenen Ecken). Man erleichterte durch die Wahl des Rechtecks, indem man die einzige Windform an die eine lange Seite verlegte, das Vordringen des nur schwach gepressten Winds bis zur gegenüberliegenden Wand, was bei der geringen Leistung der damaligen Gebläse nicht ohne Wichtigkeit war.

Die Höhe des abgebildeten Ofens vom Boden bis zur Gichtöffnung beträgt etwa 7 m, die Gicht ist 0,48 und 0,81 m weit, der Kohlensack 2,0 und 2,3 m.

In Fig. 99 ist die Anordnung der ganzen Hochofenanlage erkennbar. *h* ist der Hochofen, dessen Arbeitsseite (Wallstein mit dem Roheisenstich) dem Beschauer zugewendet ist. An seiner linken Seite sieht man das durch ein Wasserrad getriebene einfache Gebläse; auf der Anhöhe im Hintergrunde werden durch Maulthiere Holzkohlen in Säcken in den Schuppen gebracht, aus welchem sie nach der Gicht des Hochofens befördert werden sollen. Links im Vordergrunde gewahrt man eine ziemlich ansehnliche Schlackenhalde.

Nach denselben Grundsätzen, d. h. unter Anwendung eines starken Rauhgemäuers, in welches Schacht, Rast und Gestell eingesetzt wurden,[2]) baute man die meisten Hochöfen bis gegen die fünfziger Jahre des 19. Jahrhunderts. In den Einzelheiten aber machten sich

1) Nach de Réaumurs hinterlassenen Schriften durch Courtisson et Bouchu in dem Werke: Art des forges et fourneaux à fer, section III, Paris 1762, veröffentlicht.

2) Letztere Theile, insbesondere die Rast und die Gestellsteine, mussten nach jedem Ausblasen des Hochofens erneuert werden, das Rauhgemäuer dagegen pflegte für viele Jahrzehnte benutzbar zu bleiben.

Fig. 100.

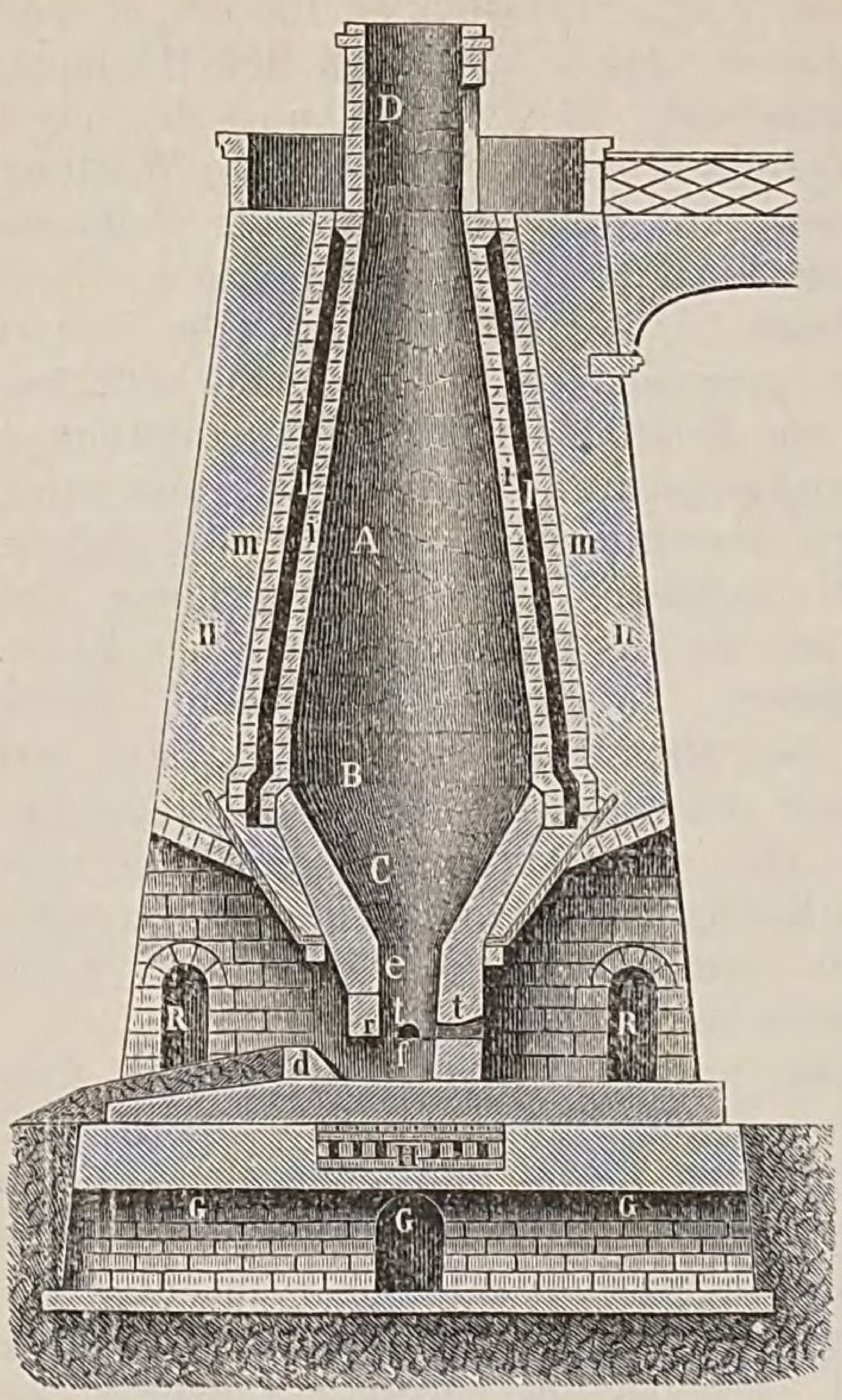
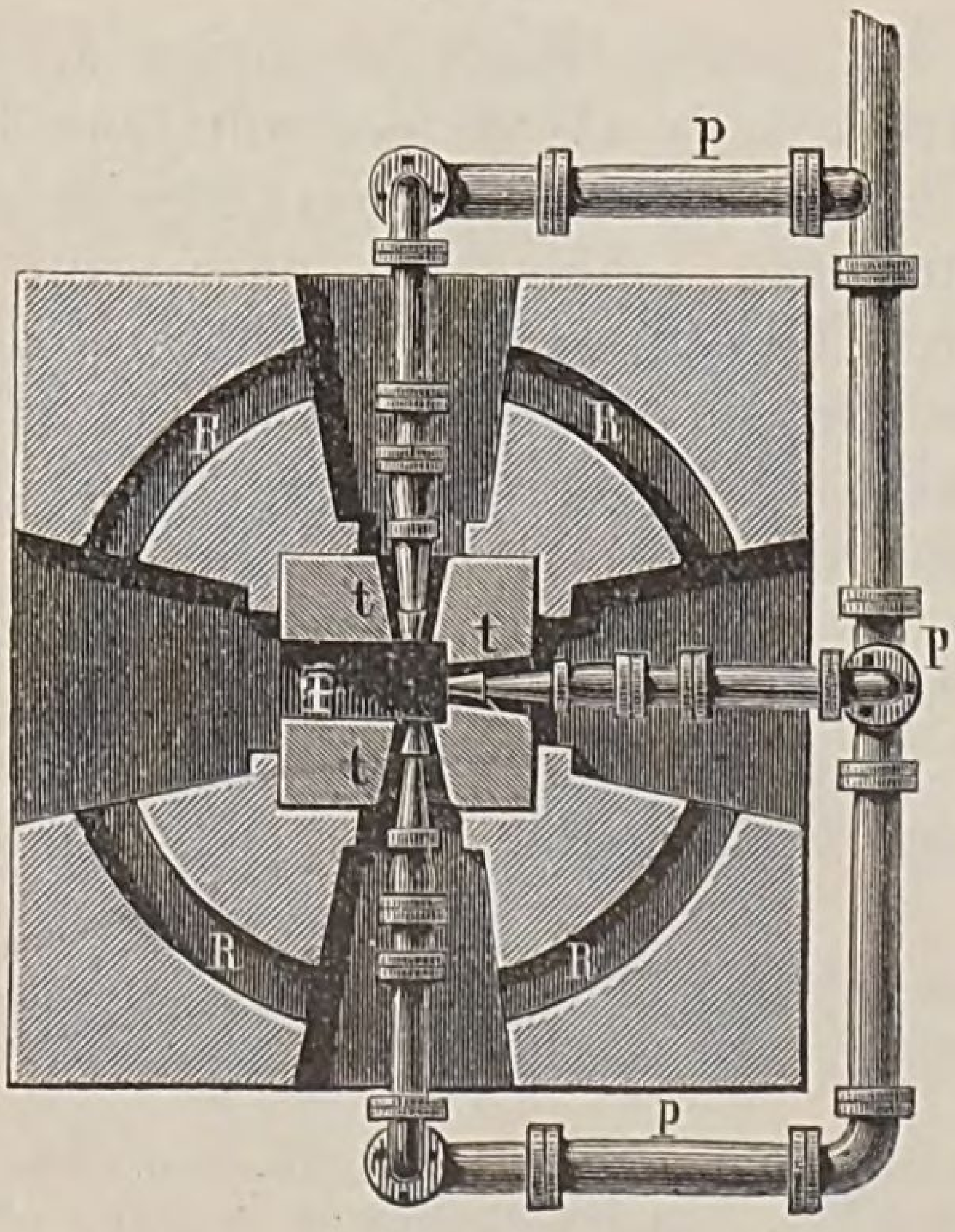


Fig. 101.



Hochofen aus dem Jahre 1850.

allmählich verschiedene Aenderungen bemerkbar. In Fig. 100 und 101 ist ein solcher in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts erbauter Hochofen mit Rauhgemäuer abgebildet.[1]) Er ist mit drei Windformen und offener Brust versehen. Auf dem von Kanälen *G* und *H* durchzogenen Unterbau wurden mächtige Eckpfeiler errichtet, zwischen denen, wie der Grundriss Fig. 101 erkennen lässt, die vier Oeffnungen für die Formen und die Brust ausgespart blieben. Bei Oefen mit nur zwei Formen wurde die dritte Formöffnung an der Rückseite des Ofens vermauert; beabsichtigte man mit mehr als drei Formen zu blasen, so legte man je zwei in eine gemeinschaftliche Oeffnung nebeneinander. Ein ringförmiger, innerhalb der Eckpfeiler gelassener Gang *R*, welcher von Oeffnung zu Oeffnung führte, erleichterte, ohne jedoch gerade unbedingt erforderlich zu sein, bei dem beträchtlichen Umfange des Ofens den Verkehr von Form zu Form. Die vier Eckpfeiler zusammen pflegte man Vierpass zu nennen.

Je zwei benachbarte Eckpfeiler wurden nun in entsprechender Höhe durch Gewölbe, welche nach aussen hin anstiegen, oder durch quer hinüber gelegte Gusseisenträger, welche ebenfalls treppenartig nach aussen hin anstiegen, mit einander verbunden, und auf diesen Gewölben oder Trägern ruhte der obere Theil des, meistens aus Bruchsteinen aufgeführten, Rauhgemäuers *n*. Da es, der Schachtform des Ofens folgend,

1) Aus B. Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde, Leipzig 1875.

sich nach oben zu verjüngen pflegte, erhielt dieser, wie schon früher, äusserlich die Form einer abgestumpften vierseitigen Pyramide.

Das Rauhgemäuer war zur Ableitung der Feuchtigkeit und zur Verminderung der Entstehung von Rissen bei der Ausdehnung von wagerechten und senkrechten, an der Aussenfläche mündenden Kanälen durchzogen[1]) und gut verankert. Die Erfahrung lehrte jedoch häufig, dass bei der Ausdehnung des Rauhgemäuers auch die stärksten Anker rissen, allerdings, ohne dass in den meisten Fällen die Haltbarkeit des Gemäuers dadurch erhebliche Einbusse erlitten hätte.

Statt des einen in Fig. 97 und 98 abgebildeten Schachts pflegte man später zwei einander umschliessende Schächte *m* und *i* in das Rauhgemäuer einzusetzen und zwischen ihnen den ringförmigen, nur mit losen Schlackenstückchen oder dergleichen ausgefüllten Raum *l*, die Füllung, frei zu lassen. Man bezweckte hierdurch, der verschiedenen Ausdehnung der inneren und äusseren Steinlagen Rechnung zu tragen, ohne die vermeintlichen Wärmeverluste durch Wärmeabgabe nach aussen zu vermehren. Auch zwischen dem äusseren Schachte *m* und dem Rauhgemäuer liess man häufig einen Zwischenraum, damit die Ausdehnung des Schachts bei der Erhitzung nicht durch das Rauhgemäuer behindert werde.

Dass auch bei dieser Einrichtung beide Schächte vom Rauhgemäuer getragen wurden und unabhängig von der Rast und dem Gestelle blieben, ist in Fig. 100 erkennbar.

Als Material für die Hochofenzustellung benutzte man, so lange man mit Holzkohlen arbeitete, nach wie vor gern Quadersandsteine in möglichst grossen Stücken und gut zusammengefugt. Dem Gestelle gab man in Rücksicht auf die bequemere Herstellung häufig noch vierseitigen Querschnitt (wie in Fig. 101); für den Schacht dagegen war allmählich der kreisförmige Querschnitt üblicher geworden.

Wo man jedoch zu dem Betriebe mit Koks überging, ersetzte man die Sandsteine, welche durch die basischeren Schlacken dieser Oefen gewöhnlich rasch weggeschmolzen wurden, bald durch Schamotteziegeln.

Hochöfen mit Rauhgemäuer und freistehendem Gestell.

Bei den Hochöfen der beschriebenen Einrichtung, welche noch in den siebziger Jahren dieses Jahrhunderts für Holzkohlenbetrieb nicht selten in Benutzung waren und vereinzelt auch jetzt noch hier und da gefunden werden, ist auch der untere Theil, das Gestell, zum grossen Theil von dem Rauhgemäuer eingeschlossen und nur an den Formöffnungen und vor dem Tümpelsteine freigelegt. Dadurch wird zwar die Abkühlung des Gestells von aussen her nach Möglichkeit vermieden; aber eben deshalb sind die Gestellsteine dem Wegschmelzen leichter unterworfen, und Abwechselungen sind während des Betriebs unmöglich, da das Gestell von aussen nicht zugänglich ist. Dieser Nachtheil trat deutlicher als früher zu Tage, nachdem durch Eintreten der Wind-

1) Auch unter dem Boden des Gestells pflegte man solche Kanäle anzubringen, welche mit den in den Eckpfeilern aufsteigenden Kanälen in Verbindung standen. In Fig. 100 sind bei *H* solche Bodenkanäle angedeutet.

Fig. 102.

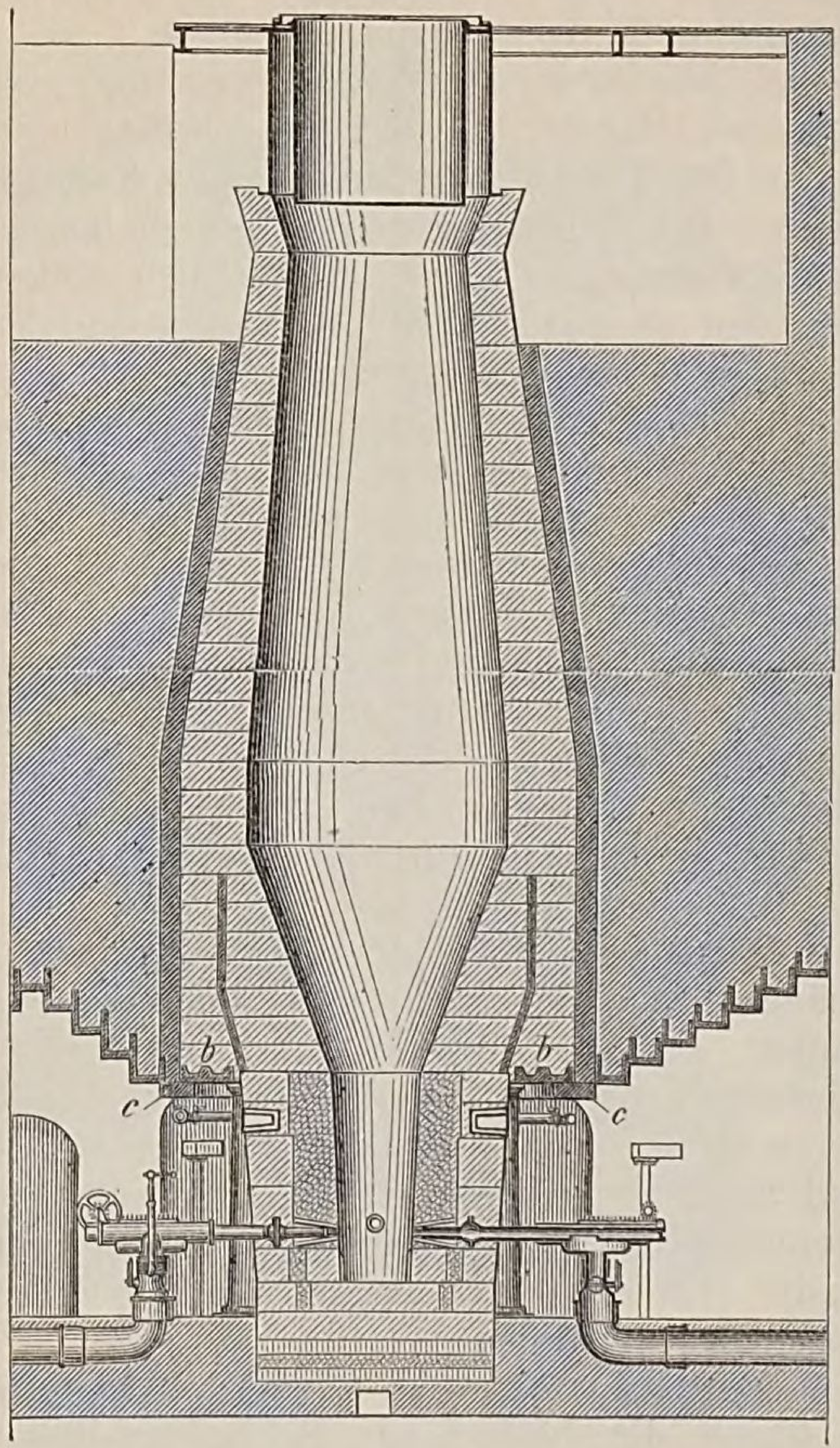
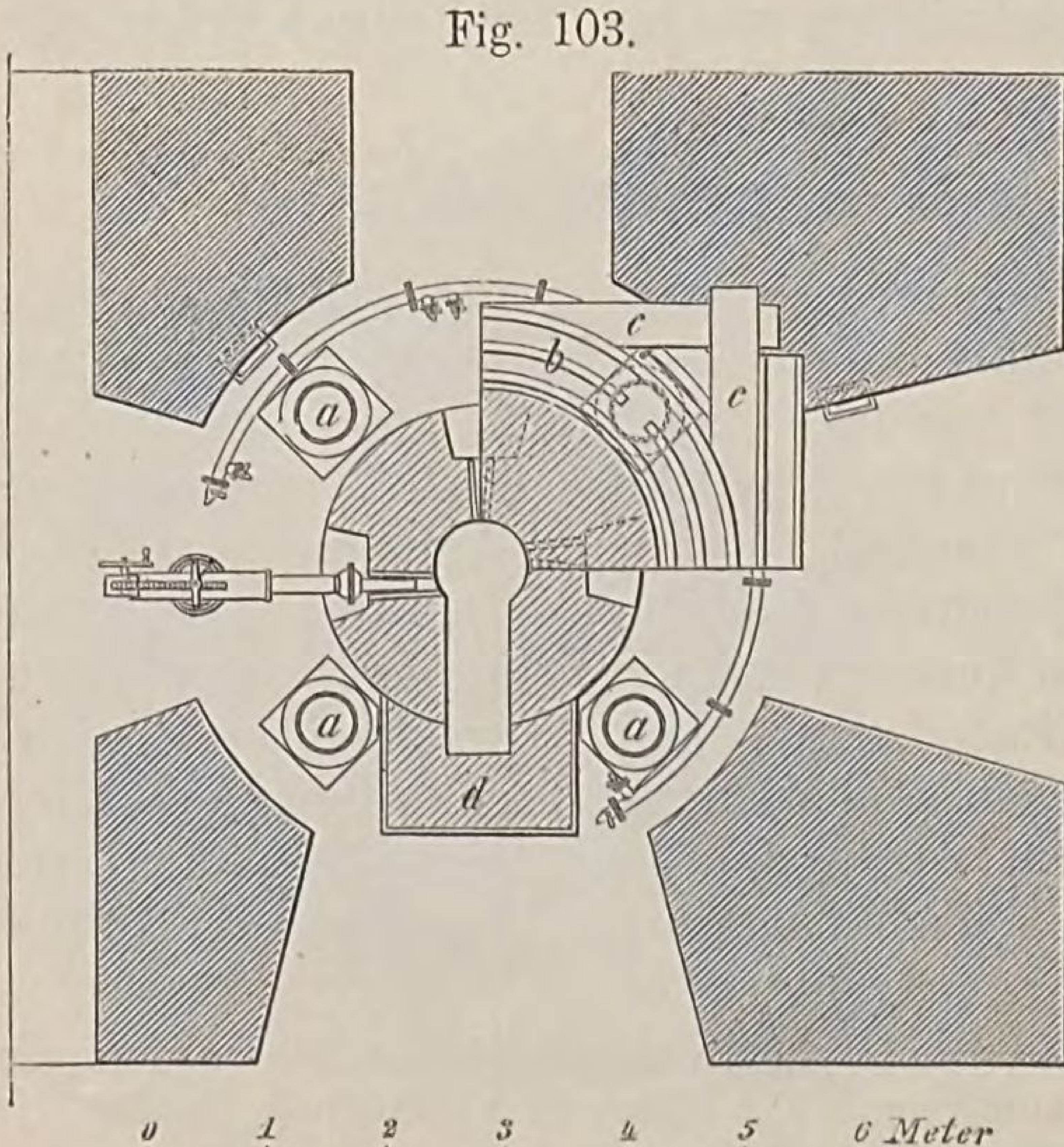


Fig. 103.



erhitzung die Temperatur im Verbrennungsraume der Hochöfen gesteigert worden war. Man ging deshalb bei vielen Oefen dazu über, das Gestell ringsherum freizulegen, um es der Einwirkung der äusseren Luft zugänglich zu machen und Ausbesserungen auch während des Betriebs zu ermöglichen. Zugleich erlangte man hierdurch bei grösseren Oefen den Vortheil, in bequemerer Weise als bisher die Formen vertheilen zu können. Der Zweck wird erreicht, indem man die vier Eckpfeiler nicht bis ganz an das Gestell hinantreten lässt; der Schacht ruht entweder, wie bei den vorher beschriebenen Oefen mit eingebautem Gestell, im Rauhgemäuer, oder er wird, wie bei dem in Fig. 102 und 103 abgebildeten Hochofen,[1]) von einem starken Gusseisenringe getragen, welcher auf Säulen ruht. *a a* (Fig. 103) sind die Säulen, *b b* (Fig. 102) der mit drei aufrecht stehenden Rippen versehene Kranz. Letzterer wird ausserdem noch durch die vier starken, von Pfeiler zu Pfeiler hinübergehenden Trageisen *c c* gestützt. Das obere Rauhgemäuer ruht auf den U-förmigen, in Fig. 102 sichtbaren Gusseisenträgern, deren Enden in die Eckpfeiler des Rauh-

1) Harzer Holzkohlenhochofen, im Jahre 1867 gebaut. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Bd. 19, Tafel 5.

gemäuers eingelassen sind. Zwischen Rauhgemäuer und Schacht befindet sich eine breite Füllung. Dass auch bei diesem Ofen die Rast und das Gestell sich auswechseln lassen, während der Schacht unverändert an seiner Stelle bleiben kann, ist aus Fig. 102 zu ersehen. *d* in Fig. 103 ist der Wallstein.

Hochöfen mit Blechmantel.

Die Hochöfen mit Rauhgemäuer sind, selbst wenn man das Gestell freilegt, schwerfällig und kostspielig; diese Nachtheile wachsen mit der Grösse des Ofens. Als man daher im Anfange der vierziger Jahre, gedrängt durch die mächtigen Steigerungen des Roheisenbedarfs, anfing, die bis dahin gebräuchlichen Grenzen für den Rauminhalt der Hochöfen beträchtlich zu überschreiten, stellte sich die Nothwendigkeit heraus, auch dem Aufbau der Hochöfen eine andere Einrichtung zu geben.

In Schottland war es, wo man in jener Zeit zuerst mit den von Alters her überlieferten Regeln brach, das Rauhgemäuer der Hochöfen zunächst auf kleinere Abmessungen beschränkte, dann ganz beseitigte, den Schacht (oder die Schächte) auf einen von Säulen getragenen Gusseisenkranz stellte und nur mit einem Blechmantel einhüllte.

Der Erfolg bestätigte die Berechtigung dieser Maassnahmen. Die schottischen Hochöfen, wie man sie benannte, waren billiger, haltbarer, für Ausbesserungen auch während des Betriebs zugänglicher; eine merkbare Erhöhung des Brennstoffaufwands aber oder eine Verschlechterung des Hochofengangs, welche Uebelstände jedenfalls von den allermeisten Hochofenleuten erwartet worden waren, stellten sich nicht ein. So breitete sich jene Hochofenbauart allmählich auch in anderen Gegenden aus, obgleich vorsichtige Hochofenleute des Festlandes sich nur schwer und langsam dazu entschliessen konnten, die ihnen seit der Vorzeit überlieferte Ueberzeugung von dem wohlthätigen Einflusse dicker Wände auf den Hochofengang fallen zu lassen.[1])

Ein Ofen dieser Art, welcher gegen Mitte der siebziger Jahre auf einem westfälischen Eisenwerke erbaut wurde, ist in Fig. 104 bis 106 abgebildet.

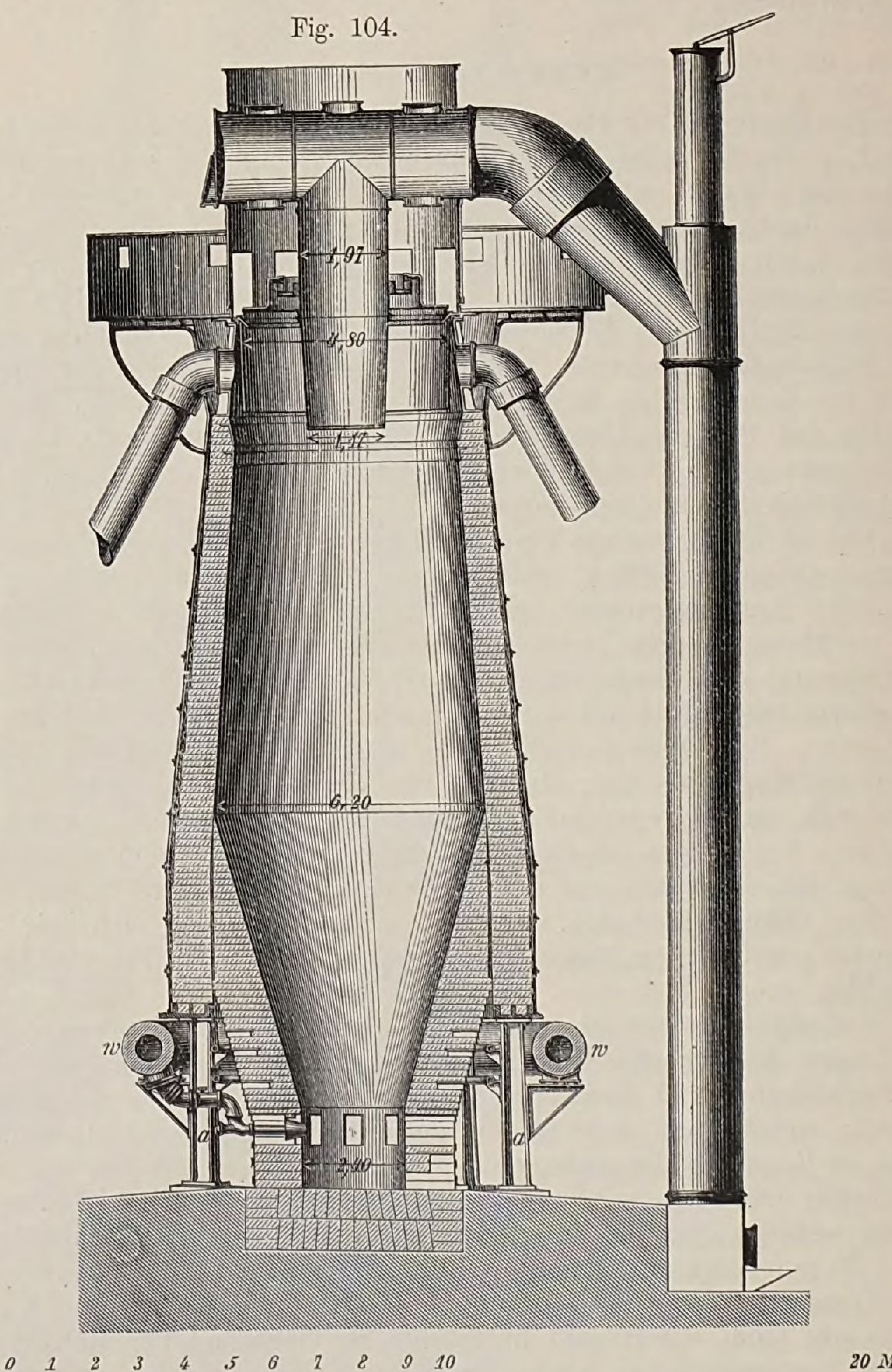
Auf den Ständern *aa* ruht der mit aufstehenden Rippen versehene, zum Tragen des Schachts dienende Gusseisenkranz, und an diesem wird der Eisenblechmantel befestigt. Den Kranz giesst man in einzelnen Stücken, welche auf den Säulen zusammenstossen und in einfacher Weise, z. B. mit Hülfe angegossener Zapfen an den Enden und warm umgelegter Schmiedeeisenringe, untereinander wie mit den Säulen verbunden werden. Der Mantel besteht aus einzelnen Eisenblechtafeln von 10 bis 20 mm Stärke, welche gewöhnlich vernietet, bei dem abgebildeten Ofen dagegen, wie Fig. 105 erkennen lässt, in den unteren neun Lagen verschraubt sind, damit man im Stande sei, während des Betriebes sie einzeln herauszunehmen und etwa erforderliche Ausbesserungen am Mauerwerk vorzunehmen. Jede einzelne Tafel ist zu diesem Ende mit einem aufgenieteten Kranze aus Winkeleisen eingefasst, so dass nach

1) In Deutschland wurde der erste Hochofen ohne Rauhgemäuer nach schottischem Vorbilde in Hasslinghausen (Westfalen) im Jahre 1855 gebaut (Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1874, Seite 615).

aussen vorstehende Ränder gebildet werden, durch welche die Verbindungsschrauben hindurchgehen.

Zwischen Blechmantel und Schacht muss wiederum in Rücksicht auf die stärkere Ausdehnung des letzteren ein ausreichend (10 bis 20 cm)

Fig. 104.



breiter Zwischenraum bleiben, der entweder ganz leer gelassen oder mit lockeren Körpern ausgefüllt wird. Lässt man den Zwischenraum zu schmal, oder liegt die Ausfüllung zu dicht, so ist ein Zerplatzen auch des stärksten Blechmantels die Folge davon.

Bei neueren Oefen dieser Art begnügt man sich mit einem einzigen, entsprechend starken Schachte; bei älteren Oefen waren nicht selten, wie bei den früheren Oefen mit Rauhmauerwerk, zwei Schächte hinter einander und dazwischen eine Füllung angeordnet. Beide Schächte ruhten in diesem Falle auf dem gemeinschaftlichen Tragkranze.

Die Säulen oder Ständer *aa* werden aus Gusseisen oder in neuerer Zeit häufiger aus Eisenblech gefertigt.

Der abgebildete Ofen hat 7 Windformen und geschlossene Brust. Die Stelle der achten Windform nimmt die Schlackenform (Schlackenabflussöffnung) ein. In Fig. 104 ist an der rechten Seite auch die Stichöffnung für das Roheisen sichtbar.

Hochöfen mit freistehendem Schachte.

Wenn durch die Beseitigung des Rauhgemäuers der Hochöfen eine wesentliche Vereinfachung gegen früher erreicht worden war, so bildet immerhin der Blechmantel, den man als Schutz gegen äussere Beschädigungen für nothwendig gehalten hatte, einen Bestandtheil der Anlage, welcher die Zugänglichkeit des Schachts während des Betriebs, die Ausführung von Arbeiten am Schachte, z. B. Auswechselung einzelner Steine, erschwert. Selbst wenn man, wie bei dem beschriebenen Hochofen, die einzelnen Blechtafeln zum Herausnehmen einrichtet, bleibt der Uebelstand bestehen, dass die Steinlagen der Beobachtung entzogen sind, und dass die Herstellung des Mantels ziemlich kostspielig ist. Der Schutz aber, welchen der Mantel den Schacht-

Fig. 105.

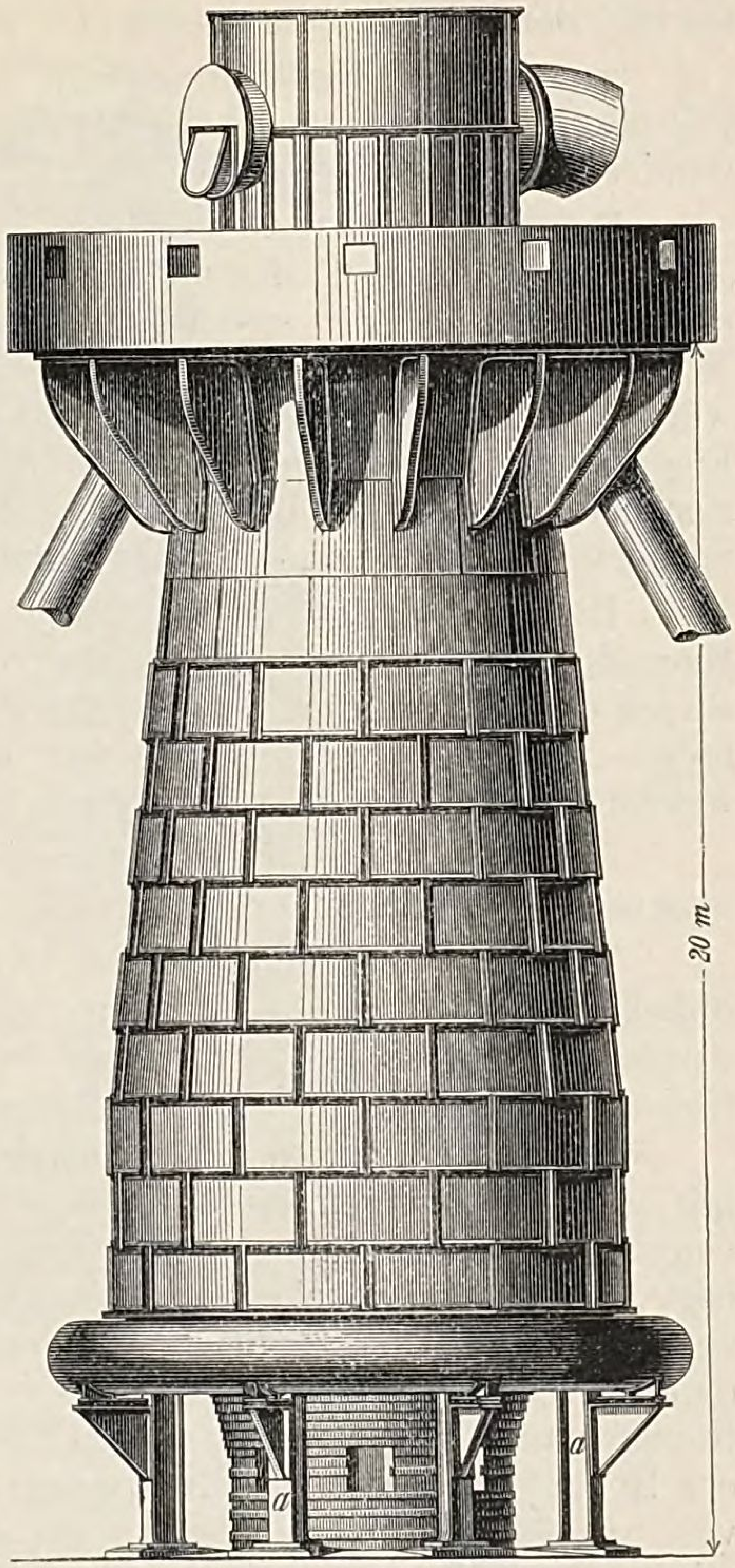
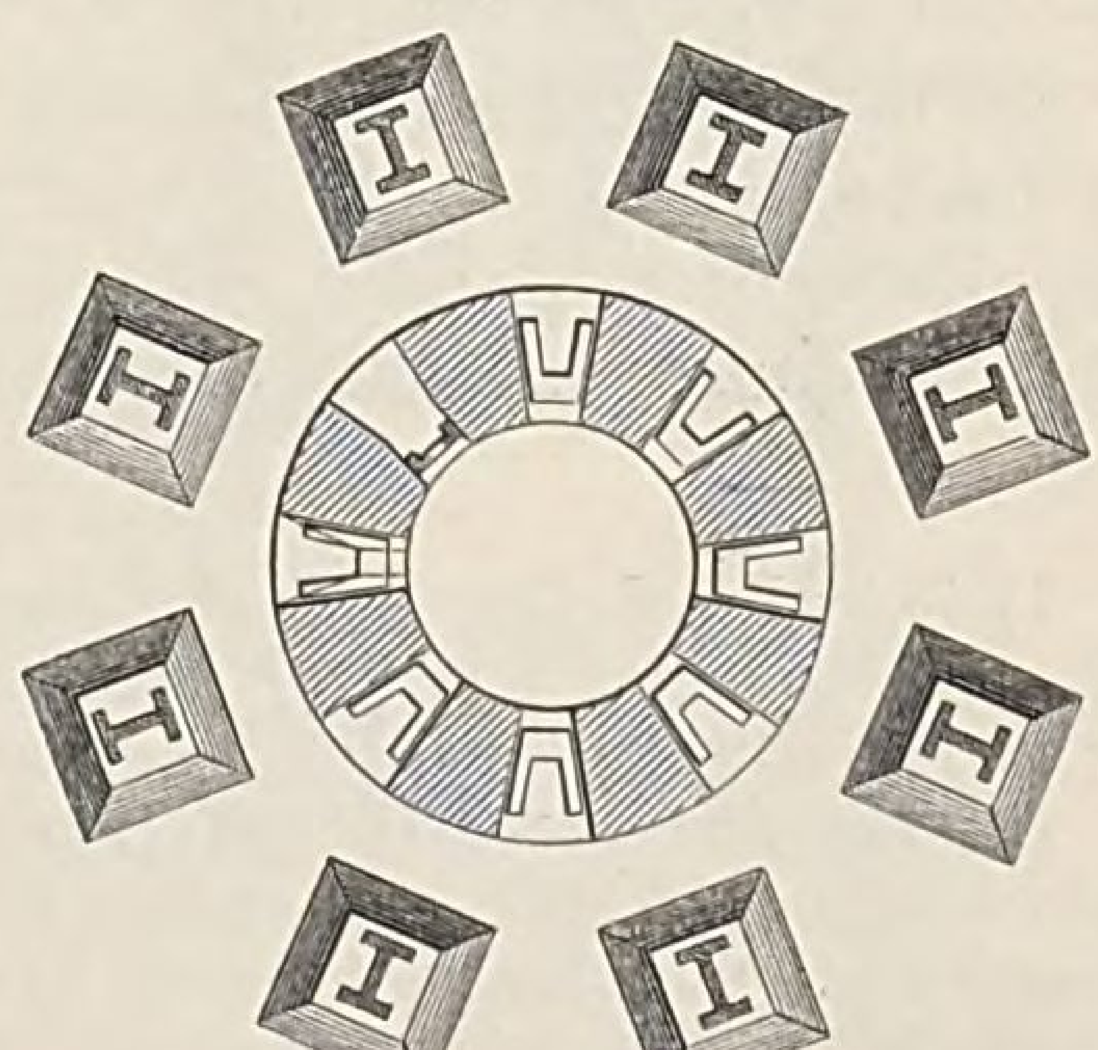


Fig. 106.



Hochofen aus dem Jahre 1874.

steinen zu verleihen im Stande ist, kann ebenso gut durch umgelegte eiserne Bänder erreicht werden.

Aus solcher Erwägung ging die Einrichtung der Hochöfen mit vollständig freistehendem Schachte hervor, welcher nur durch umgelegte Bänder eine Rüstung erhält.

Einer der ersten Oefen dieser Art wurde zu Ilsede bei Peine im Jahre 1864 gebaut;[1]) allgemeiner bekannt wurde die Einrichtung erst, nachdem einige Zeit später auf dem kleinen Eisenwerke Heerdt bei Neuss ein Ofen mit freistehendem Schachte durch Büttgenbach gebaut worden war und man in verschiedenen Ländern Patente auf gewisse Eigenthümlichkeiten des letzteren Ofens ertheilt hatte.[2]) Seit Mitte der siebenziger Jahre hat alsdann die Zahl der Hochöfen mit freistehendem Schachte von Jahr zu Jahr zugenommen.

Die Abbildung Fig. 107 stellt einen Hochofen dieser Art dar. Einzelne umgelegte Reifen dienen zum Schutze des Schachts. Damit sie bei der Ausdehnung des Ofens nicht springen, müssen sie anfänglich locker umgelegt werden und mit einer Vorrichtung versehen sein, welche ein Lockern und Anziehen ermöglicht.

Auf Seite 168 sind in Fig. 47 und 48 bereits einige Beispiele solcher Vorrichtungen gegeben.

Versuche über den Einfluss, welchen die Beseitigung des früher üblichen Rauhgemäuers auf den Schmelzgang des Hochofens ausübt, wurden in den siebenziger Jahren bei dem Königlichen Eisenwerke zu Gleiwitz angestellt.[3])

Bei dem einen von zwei vorhandenen Hochöfen, welche ursprünglich mit starkem Rauhgemäuer und eingebautem Gestell versehen gewesen waren, wurde das Rauhgemäuer von der Gicht abwärts bis etwas oberhalb der Kohlensackebene abgebrochen, das Gestell ringsherum freigelegt und der Ofen dadurch in einen solchen mit freistehendem Schacht ohne Blechmantel verwandelt. Der noch übrig gebliebene Rest des Rauhgemäuers, welcher nur als Unterstützung für anderweitige Theile der Hochofenanlage beibehalten wurde, bildete solcherart eine Art Gürtel von ungefähr 3,5 m Höhe rings um den Ofen in der Gegend der Rast, mit welchem jedoch das eigentliche Ofengemäuer ohne alle Verbindung gelassen war, so dass zwischen Ofen und Rauhgemäuer ein Zwischenraum von 0,47 m Breite frei blieb.

Zunächst zeigte sich, dass bei dieser Anordnung, wo innerhalb jenes Zwischenraums ein lebhafter, die Abkühlung des Ofengemäuers in der Kohlensackgegend befördernder Luftwechsel stattfand, der Koksverbrauch (bezogen auf die Gewichtseinheit dargestellten Roheisens)

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1874, Seite 614. Die Einrichtung entwickelte sich ziemlich gleichzeitig auf verschiedenen Werken. Näheres hierüber ist in der hier genannten Abhandlung mitgetheilt.

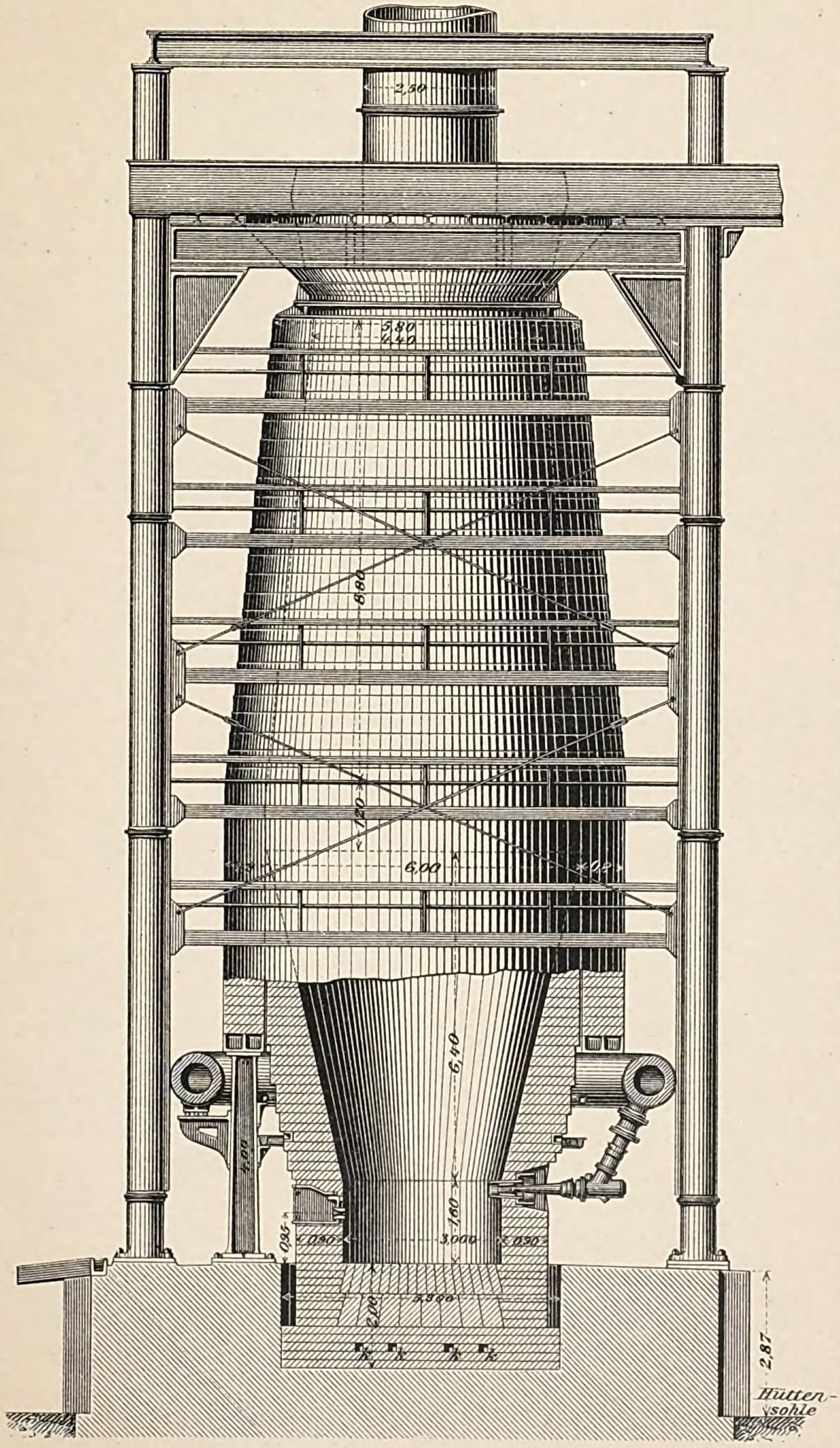
2) Eigentliche Büttgenbach-Hochöfen, welche im Anfange der siebenziger Jahre auf verschiedenen Werken, besonders des Auslands, gebaut wurden, dürften jetzt kaum noch bestehen. Ihre Einrichtung ist beschrieben u. a. in der Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1874, Seite 614; Berg- und hüttenm. Ztg. 1874, Seite 281; Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde, Seite 105.

3) Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band 22, Seite 260.

Fig. 107.

Hochofen zu Friedenshütte 1890.

1/160 der wirklichen Grösse.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

unter übrigens gleichen Betriebsverhältnissen nicht grösser war als bei dem zweiten Hochofen mit starkem Rauhgemäuer.

Man füllte nun den erwähnten Zwischenraum mit Kokslösche, also einem schlechten Wärmeleiter, aus und ermittelte aufs Neue die Betriebsergebnisse während mehrerer Wochen. Es zeigte sich keine Verringerung des Koksverbrauchs.

Nachdem später die Füllung wieder entfernt, der Luftwechsel rings um den Schacht her wieder hergestellt worden war, ergab sich sogar als Durchschnitt während einer längeren Betriebszeit eine Ersparung an Koks gegenüber dem Betriebe mit Ausfüllung des Zwischenraums, welcher mitunter bis auf 19 v. H. stieg.

Wenn dieses letzte Ergebniss auch vermuthlich durch andere Umstände mit herbeigeführt worden ist, liefern doch die mitgetheilten Versuche den Beweis dafür, dass durch die Freilegung des Schachts eine Verschlechterung des Hochofengangs nicht eintritt.

Eine fernerweit gemachte Beobachtung ist, dass die freistehenden Schächte ohne Blechmantel sich nach dem Anblasen des Hochofens sowohl im Durchmesser als in der Höhe weniger ausdehnen als die Oefen mit Mantel oder Rauhgemäuer. Der freistehende Schacht in Gleiwitz wuchs in der Höhe nur um 78 mm, während früher eingebaute Schächte bis 235 mm gestiegen waren. Der Unterschied findet seine ausreichende Erklärung in der weniger starken Erhitzung des freistehenden Schachts. Für seine Haltbarkeit ist die Beschränkung der Ausdehnung nicht ohne Wichtigkeit.

In Deutschland sind bei Neuanlagen die freistehenden Schächte der Hochöfen ganz allgemein geworden, und sie haben sich stets gut bewährt. In anderen Ländern (Grossbritannien, Nordamerika, Frankreich) sind sie seltener. Man fürchtet den nachtheiligen Einfluss der Witterung auf die Schachtsteine und schützt nach wie vor diese durch einen umschliessenden Blechmantel oder auch durch eine dünne Umhüllung aus gewöhnlichem Ziegelmauerwerk. Der Ofen bekommt in letzterem Falle ebenfalls das Aussehen wie diejenigen mit freistehendem Schachte; aber der eigentliche Schacht bleibt weniger zugänglich.

Die Anordnung der einzelnen Theile des Hochofens.

Mit den geschilderten Aenderungen, welche die Bauart der Hochöfen während des neunzehnten Jahrhunderts erfuhr, gingen Aenderungen in der Anordnung der einzelnen Theile Hand in Hand. Auch der Ersatz der früher fast ausnahmslos benutzten natürlich vorkommenden feuerfesten Steine für den inneren Ausbau des Ofens durch Schamottsteine, deren Anfertigung um so mehr vervollkommnet wurde, je mehr der Bedarf stieg, brachte gewisse Aenderungen mit sich. Jene natürlichen feuerfesten Steine lassen sich in grösseren Stücken als Schamottsteine beschaffen; die Anzahl der Fugen ist bei Benutzung der ersteren geringer, die Art und Weise des Verbands der Steine unter einander eine andere. Schamottsteine aber lassen sich ohne Schwierigkeit in jeder beliebigen Form, den geeignetsten Ofenumrissen entsprechend, anfertigen; die natürlich vorkommenden feuerfesten Steine sind ein sprödes Material, dessen Bearbeitung erhebliche Kosten an Arbeitslohn und Abfällen ver-

ursacht. Vorwiegend in Rücksicht auf den letzteren Umstand hatte man Jahrhunderte lang den vierseitigen Querschnitt des Ofeninnern, zumal des unteren Theils (wie bei dem Ofen Fig. 100 und 101 auf Seite 404), beibehalten, obgleich er für den gleichmässigen Niedergang der zu schmelzenden und geschmolzenen Massen zweifellos nicht günstig war; erst als man zur Benutzung künstlich gefertigter feuerfester Ziegeln für den Ofenbau überging, wurde der kreisförmige Querschnitt zur Regel.

Die Schamottsteine für den Schacht pflegen etwa 35 v. H. Thonerde zu enthalten; für die unteren Theile verwendet man gern noch etwas thonerdereichere Steine. Für die Rast kommen mitunter Kohlenstoffziegeln (Seite 180) zur Benutzung.

Es möge hier daran erinnert werden, dass alle eisenoxydhaltigen feuerfesten Baustoffe für den Hochofenbau gefahrbringend sind, auch wenn sie an und für sich ausreichend widerstandsfähig sein sollten. Unter der Einwirkung des Kohlenoxyds im aufsteigenden Gasstrome auf das Eisenoxyd wird Kohlenstoff abgelagert (Seite 288); die Steine verlieren ihre Festigkeit und können binnen Kurzem zerfallen.[1])

Die erste Arbeit beim Aufbau der Hochöfen ist die Herstellung des Grundmauerwerks. Während für die Hochöfen mit Rauhgemäuer ein kostspieliger, 3 bis 4 m hoher, oft noch auf einem Pfahlroste ruhender Unterbau nothwendig war, um den schweren Mauerkörper zu tragen (Fig. 100), genügt für die leichteren Bauten der Jetztzeit, sofern der Baugrund ausreichend fest ist, gewöhnlich eine Betonunterlage von 0,75 bis 1 m Stärke im Erdreiche, die man oben durch einige Steinlagen Mauerwerk abzudecken pflegt. Dieser Unterbau reicht bis zur Erdoberfläche.

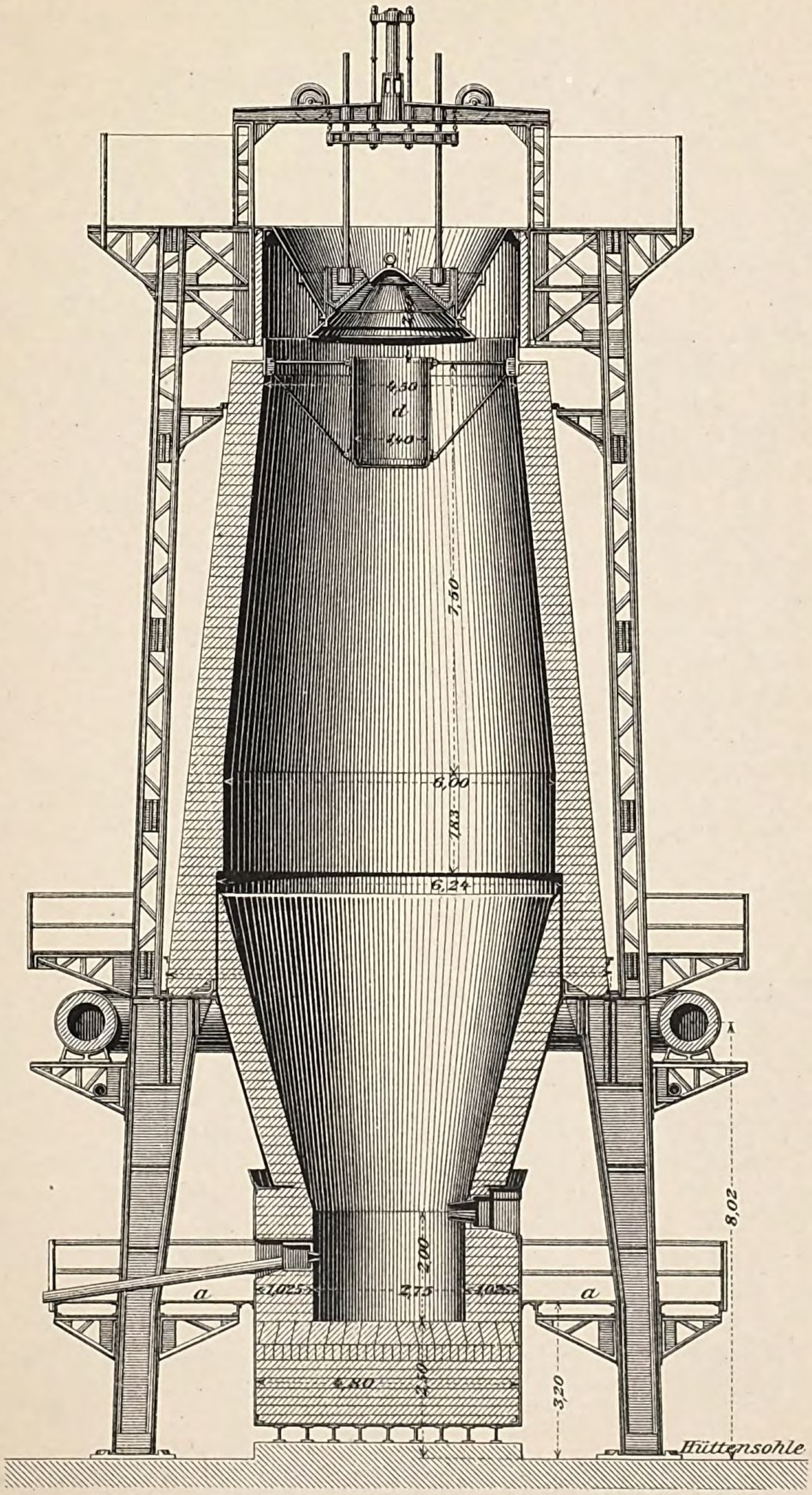
Damit nun für das Abfliessen des Roheisens das nöthige Gefälle gewahrt bleibe und die Entfernung der Schlacke ohne Schwierigkeit sich bewerkstelligen lasse, muss die untere Begrenzungslinie des Ofeninnern höher als die Erdoberfläche liegen. Bei neueren Hochöfen pflegt der Abstand über dem Boden etwa 3 m zu betragen, sofern man beabsichtigt, alles erfolgende Roheisen auf einem vor dem Hochofen angeordneten Giessbette in Masselgussformen zu vertheilen, um es hier erstarren zu lassen. Soll dagegen das Roheisen durch eine einzige grosse, unter den Abstich gebrachte Pfanne aufgenommen werden, um im flüssigen Zustande zum Zwecke seiner sofortigen Weiterverarbeitung nach einem anderen Orte weiter befördert zu werden (Flusseisenerzeugung durch Windfrischen), so kann jene Höhe bis 5 m betragen.

1) Einen Vorfall dieser Art theilt Limbor in der Wochenschrift d. Ver. deutsch. Ingenieure 1878, Seite 259, mit. Im Jahre 1875 wurde nach neunmonatlichem Betriebe ein Hochofen der Friedrich-Wilhelmshütte, dessen Schacht aus Garnkirksteinen hergestellt war, ausgeblasen. Es zeigte sich, dass die Schachtsteine allen Zusammenhang verloren hatten und mit einer schwarzen Masse durchsetzt waren, welche neben 20 Theilen Eisenoxyd 24 Theile Kohlenstoff enthielt. Die noch unbenutzten Steine enthielten 6,23 v. H. Eisenoxyd. Ein ähnlicher Fall wurde von Pattinson auf den Tees-Iron-Works in Middlesborough beobachtet (Journal of the Iron and Steel Institute 1876, I p. 85). Steine, welche in geringerem Maasse von Kohlenstoff durchsetzt sind, werden nach dem Ausblasen der Oefen häufig gefunden. Vergleiche auch Lürmanns Mittheilungen in „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 168.

Fig. 108.

Hochofen I zu Donawitz.

1/160 der wirklichen Grösse.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

In der gleichen oder annähernd gleichen Höhe nun muss eine den Hochofen rings umschliessende Bühne geschaffen werden, um die Wartung der Windformen, des Roheisenstichs und Schlackenabflusses zu ermöglichen. Bei den meisten jetzt bestehenden Hochöfen hat man zu diesem Zwecke auf dem erwähnten Unterbau einen Mauersockel von der angegebenen Höhe aus Ziegeln oder Bruchsteinen aufgeführt, welcher den unteren Theil des eigentlichen Hochofenmauerwerks, den Boden, rings umschliesst und einen solchen äussern Durchmesser besitzt, dass sein Scheitel als Bühne für die erwähnten Arbeiten dienen kann. In Fig. 107 ist diese Anordnung erkennbar. Im Grundrisse pflegt der Sockel Kreisform, mitunter auch quadratische oder achteckige Form zu besitzen; durch eine Treppe wird sein Scheitel von der Erdoberfläche aus zugänglich gemacht.

Hierdurch entsteht nun aber der Nachtheil, dass der Boden des Hochofens der Abkühlung durch die äussere Luft oder durch Berieselung mit Wasser fast ganz entzogen und dadurch der Gefahr einer verhältnissmässig raschen Zerstörung preisgegeben ist. Wie man schon in der ersten Hälfte des Jahrhunderts zunächst das Gestell und die Rast, später auch den Schacht von der Umhüllung durch das Rauhgemäuer befreite, hat man neuerdings auch nach einem Vorschlage Lürmanns[1]) bei Neubauten den Boden freier gelegt, indem man ihn durch einen Blechmantel oder auch nur durch Eisenbänder einfasste, um ihn ausreichend widerstandsfähig gegen den Druck des darauf lastenden Gestellmauerwerks zu machen. Der Boden kann hierbei unmittelbar von einem darunter aufgeführten Mauersockel getragen werden, dessen Durchmesser nur wenig grösser als der des Bodens zu sein braucht;[2]) will man ihn jedoch auch von unten her kühl halten, so stellt man ihn auf eine starke Eisenplatte, welche auf Eisenträgern frei ruht. In Fig. 108, einen zu Donawitz in Steiermark im Jahre 1890 nach einem Entwurfe Lürmanns erbauten Ofen darstellend, ist die letztere Einrichtung erkennbar. Der Boden ist hier unten und an den Seiten durch einen Eisenblechmantel umschlossen.

Wenn nun aber jener, den Boden einschliessende breite Mauersockel wegfällt, muss eine besondere Bühne für den Verkehr der Arbeiter an den Windformen, dem Roheisenstiche und Schlackenabflusse geschaffen werden. Wie diese Aufgabe sich lösen lässt, ist ebenfalls in Fig. 108 zu ersehen. An den zum Tragen des Ofenschachts dienenden Ständern sind Kragstücke in entsprechender Höhe angeschraubt, auf welchen nun die aus Eisenträgern und Blechtafeln gebildete Bühne *a* ruht.

Den Boden fertigte man früher, so lange man sich der natürlich vorkommenden feuerfesten Gesteine (Quadersandsteine, Puddingsteine) bediente, aus einzelnen langen, quer unter dem Ofen hinweggehenden Steinen, welche durch das darauf ruhende Gestell in ihrer Lage festgehalten wurden. Bei der jetzt üblichen Verwendung von Schamottziegeln sind so bedeutende Abmessungen der einzelnen Steine nicht zulässig, und man ist deshalb gezwungen, zahlreiche einzelne Ziegeln

1) „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 303, 706; 1889 Seite 525.

2) Abbildungen eines solchen Hochofens: „Stahl und Eisen“ 1895, Tafel IX (Hochofen II zu Kladno).

in solcher Weise zusammenzufügen, dass jeder von ihnen durch die Nachbarsteine festgehalten wird, ohne seine Lage verändern oder dem Bestreben zum Emporsteigen in dem flüssigen Metalle nachgeben zu können und ohne diesem den Eintritt zwischen die Fugen zu ermöglichen. Man erreicht diesen Zweck gewöhnlich dadurch, dass man den mittleren Stücken des Bodens Keilform giebt und die daran stossenden in schräger Stellung dagegen legt, so dass der Boden ähnlich wie ein umgekehrter scheitrechter Bogen zusammengefügt ist. Die Abbildungen Fig. 104, 107, 108 lassen diese Anordnung erkennen. Die äussersten dieser Steine treten unter die Steine des Gestells und werden von diesen in ihrer Stellung festgehalten, während sie selbst es den übrigen Steinen unmöglich machen, aus ihrer Lage zu weichen. Gewöhnlich werden zwei Schichten solcher Steine über einander angebracht, wobei die Fugen der unteren Schicht durch die Steine der oberen abgedeckt werden, mitunter befindet sich darunter noch eine Schicht aus wagerecht liegenden Ziegeln (Fig. 107, 108). Die Stärke dieser sämmtlichen Steinlagen zusammen pflegt 1,5 bis 2,0 m zu betragen.

Bei Hochöfen, welche bleiische Erze verhütten, tritt das im Ofen reducirte, specifisch schwerere und in einem sehr dünnflüssigen Zustande befindliche Blei durch die Fugen des Bodens hindurch nach unten (Seite 341). Es lässt sich gewinnen, wenn man unter dem Boden Kanäle anordnet, welche unter einander in Verbindung stehen und mit schwachem Fall nach aussen münden. Bei dem Hochofen Fig. 107 sind vier solcher Kanäle (in der Zeichnung mit *kk* bezeichnet) unterhalb des Bodens sichtbar.

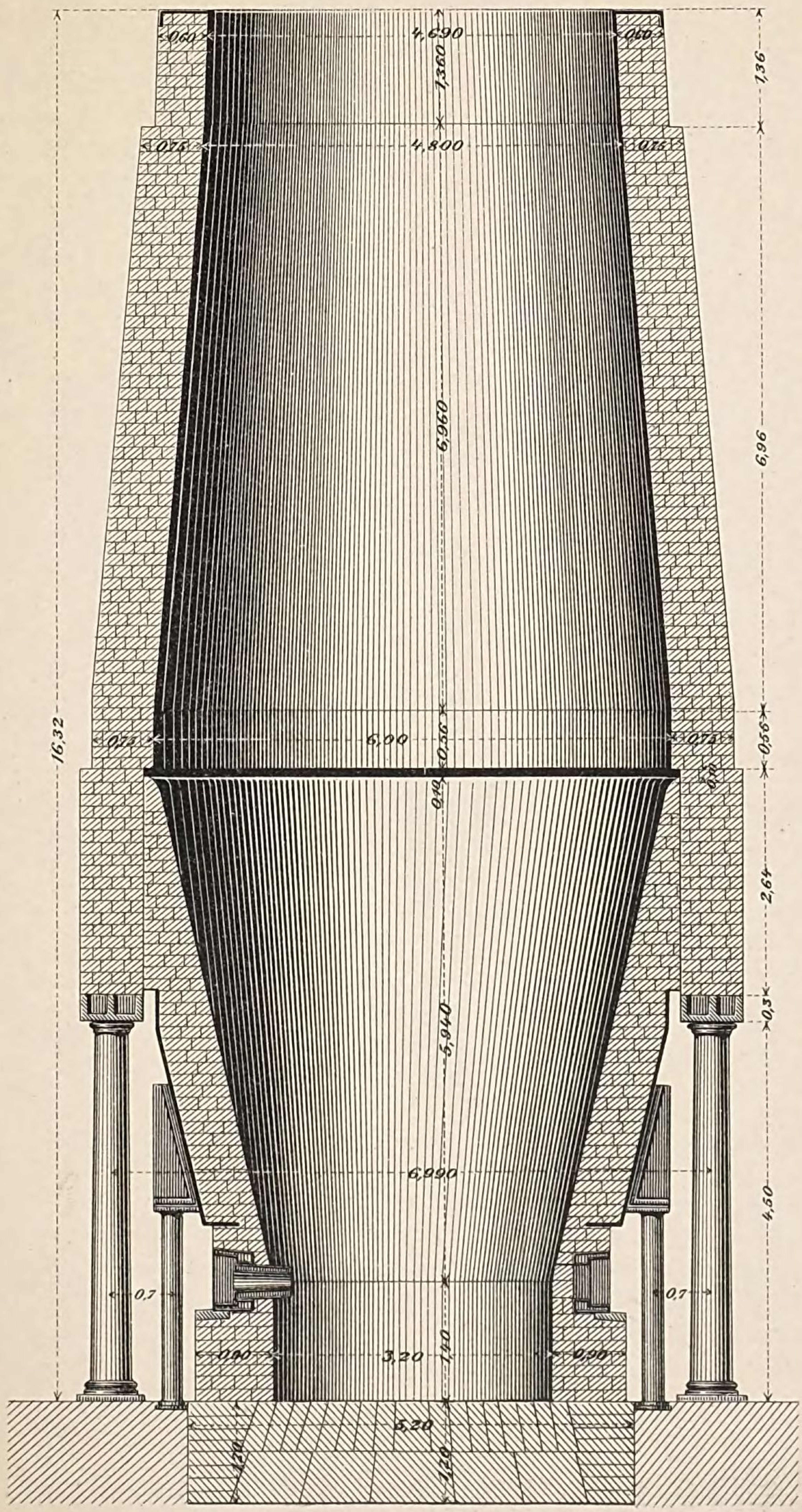
Bevor auf dem Bodensteine das Gestell und die Rast aufgestellt werden, pflegt man den Schacht des Ofens wenigstens bis zu der Höhe, wo die Rast sich anschliesst, emporzuführen. Bei dem Aufbau eines neuen Ofens ist es demnach zunächst erforderlich, die Säulen oder Ständer aufzustellen, welche den Schacht tragen sollen, auf diesen den Tragkranz und bei Oefen mit Blechmantel an dem Tragkranze den Mantel zu befestigen. Ist der Ofen mit einem den Boden umschliessenden Mauersockel versehen, so stellt man auf diesem die Säulen auf; gegossene und mit Ankerschrauben im Sockel befestigte Fussplatten dienen als Unterlage (Fig. 104, 107).

Die Wandstärke des Schachts muss zum Theil von der Höhe des Hochofens abhängig und in Rücksicht auf den Umstand bemessen sein, dass die untersten Steinlagen das Gewicht des ganzen Ofenschachts tragen müssen, ohne der Gefahr der Zerdrückung ausgesetzt zu werden. Zweckmässig ist es deshalb, die Wandstärke von unten aufwärts allmählich abnehmen zu lassen, wodurch das Gewicht verringert und Material gespart wird. Bei mittelgrossen Oefen (15 bis 20 m Höhe) pflegt eine Stärke der Schachtsteine im Fusse des Schachts von 750 bis 900 mm ausreichend zu sein, während an der Gicht 600 bis 700 mm Stärke genügt; bei grösseren Oefen findet man Wandstärken unten bis 1200 mm, oben etwa 700 mm.

Die Schachtsteine werden nun entweder in solchen Abmessungen gefertigt, dass die Länge jedes Steins (in der Richtung des Ofendurchmessers) gleich der Wandstärke des Schachtes ist, oder sie erhalten kürzere Abmessungen, und man fügt den Schacht aus zahlreicheren

Fig. 109.

1/100 der wirklichen Grösse.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

Steinen zusammen, wie in Fig. 109 dargestellt ist (Hochofen der Dortmunder Union, 1892 gebaut). Letzteres Verfahren ist jetzt üblicher, obgleich die Zahl der Fugen dadurch vergrössert wird. Man hat grössere Gewähr dafür, dass die kleineren Ziegeln gleichmässig gebrannt sind, und ihre Handhabung beim Einmauern ist bequemer. Nicht anwendbar sind kleine Ziegeln, wenn zinkische Erze verhüttet werden sollen. Die Zinkdämpfe dringen in die zahlreicheren Fugen und tragen zur rascheren Zerstörung des Mauerwerks bei.[1])

Das Einbauen des Gestells und der Rast nennt man das Zustellen des Hochofens, da diese Arbeit den Beschluss beim Aufbau zu bilden pflegt; die genannten Theile selbst heissen die Zustellung. Da sie in besonders starkem Maasse den Einwirkungen der hohen Temperatur, der geschmolzenen Massen und der Hochofengase preisgegeben sind, ist gerade für ihren Aufbau und die Auswahl des Materials grosse Sorgfalt unerlässlich. Gestellen für Kokshochöfen pflegt man eine Wandstärke von 0.9 bis 1 m zu geben. Ob man dazu Steine benutzt, deren Länge jedesmal gleich der ganzen Wandstärke ist, oder ob man kürzere Steine in mehreren Schichten hinter einander zusammenfügt, hängt auch hier wie bei der Herstellung des Schachts, zum Theil von der Beschaffenheit der Ziegeln und von der Zusammensetzung der Hochofenbeschickung ab. Die Abbildung Fig. 109 zeigt auch für das Gestell und die Rast die Anwendung kleiner Ziegeln. Für die Anbringung der Formen, des Stichs u. s. w. müssen die entsprechenden Oeffnungen gelassen werden, und man muss von vornherein bei Herstellung der Steine, zumal wenn man grosse Steine verwendet, hierauf Rücksicht nehmen.

Erhält der Ofen bei freistehendem Gestell offene Brust, so muss der Wallstein zwischen den Steinen des Gestells seine Befestigung erhalten, und die letzteren müssen in Rücksicht hierauf an der betreffenden Stelle entsprechend weit vorspringen, wie die Abbildung Fig. 110 auf S. 416 erkennen lässt. Die vorderen Flächen dieser Vorsprünge werden mit gusseisernen Platten *aa* (Fig. 110 bis 112) bekleidet, um gegen Beschädigungen geschützt zu sein; in den Platten giesst man Löcher ein zur Befestigung von Haken, welche zur Unterstützung schwerer, beim Betriebe benutzter Werkzeuge Verwendung finden können.[2])

An diesen Stirnplatten des Gestells kann auch die als Schutz für den Wallstein dienende Wallplatte *b* durch Haken und Keile oder in ähnlicher Weise befestigt werden. An ihrer Oberkante, und zwar ganz an dem einen Ende des Wallsteins, wird bei Oefen, deren Schlacke von selbst abfliesst (bei sämmtlichen Kokshochöfen und den auf weisses Roheisen arbeitenden Holzkohlenhochöfen), ein Einschnitt *c* angebracht, die Schlackenspur genannt, durch welche die Schlacke austritt, um auf der schon erwähnten Schlackentrift hinabzufliessen. An der entgegengesetzten Seite befindet sich das Stichloch *d*.

1) „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 133.

2) Bei den Oefen der alten Zeit (Fig. 97, 100) gaben die Eckpfeiler des Rauhgemäuers eine bequeme Gelegenheit zur Befestigung des Wallsteins, der von einem Pfeiler zum anderen hinüberging und sich vor die Steine des Gestells legte.

Die Breite der Brustöffnung pflegt bei kleinen Oefen gleich der Breite des Herdes, bei grösseren nicht über 1 m zu sein.

Fig. 110.

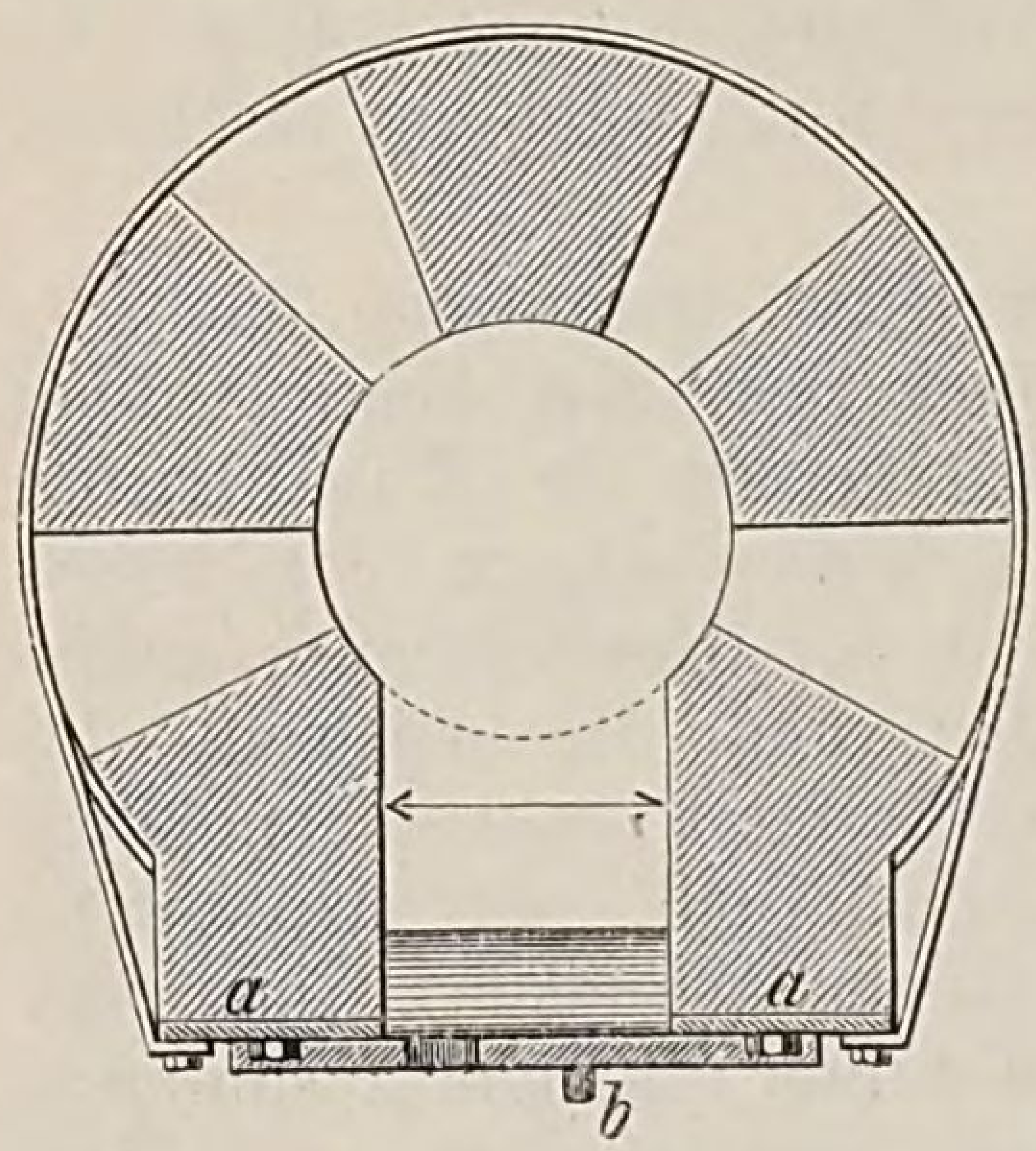


Fig. 111.

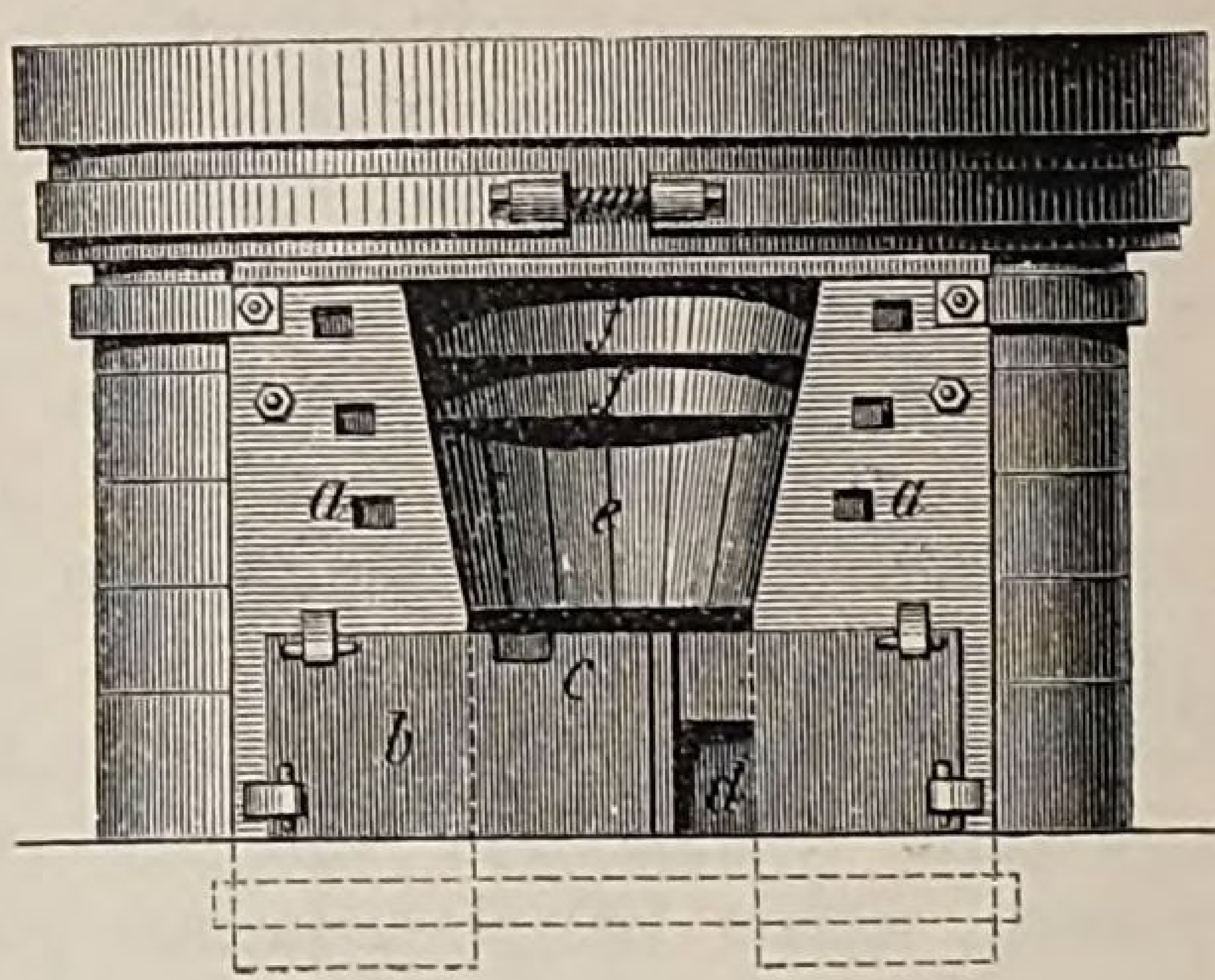
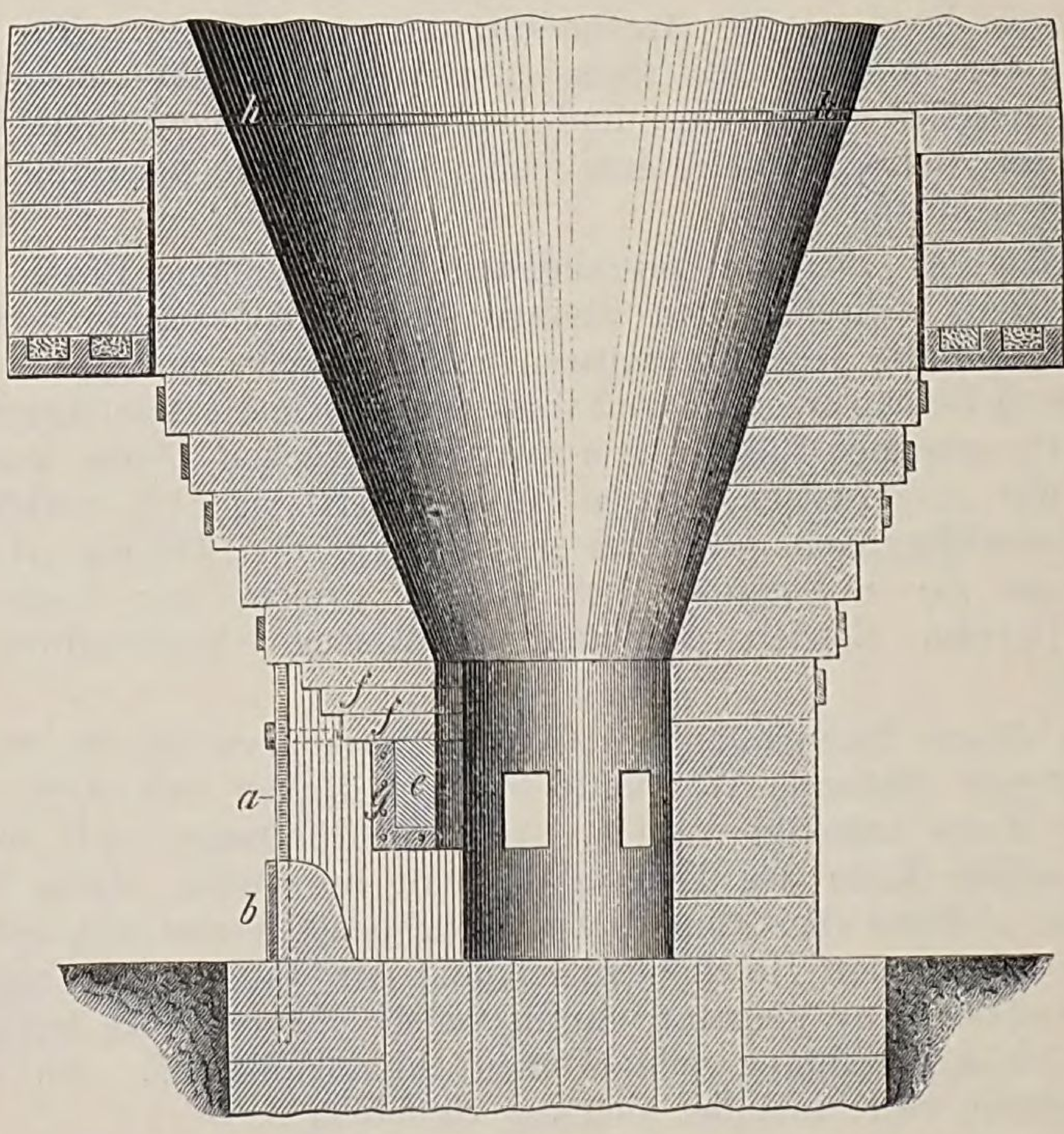


Fig. 112.



Den Tümpel *e* (Fig. 111, 112) mauert man bei Benutzung von Schamottziegeln aus einzelnen Keilstücken als scheitrechten Bogen, und man giebt zum Tragen den als Widerlager dienenden Seitenwänden der

Brustöffnung eine entsprechende Abschrägung.[1]) Die Höhe jener Oeffnung des Gestells, in welche der Tümpel eingesetzt wird, pflegt man etwas beträchtlicher zu nehmen, als für den Tümpel allein erforderlich sein würde, und dann den oberen Theil durch eingesetzte Steine *ff* zu schliessen. Das Tümpeleisen *g* (Fig. 112) hat den Zweck, die untere und gewöhnlich auch die Vorderseite des Tümpels vor Beschädigungen zu schützen. In Fig. 111 ist das Tümpeleisen weggenommen gedacht.

Von der gegenseitigen Stellung des Wallsteins, Tümpels und der Windformen war bereits auf Seite 395 die Rede.

Die Anordnung der Raststeine ist aus den gegebenen Abbildungen verschiedener Hochöfen erkennbar.

Mitunter lässt man die oberste Schicht, wie bei Fig. 104 und 107, keilartig auslaufen. Eine andere Form, vornehmlich zu dem Zwecke, die scharfe Kante der oberen Raststeine zu vermeiden, zeigt Fig. 112. Die bei *hh* gebliebene Fuge schliesst sich beim Anheizen des Ofens in Folge des Wachsens des Gestells von selbst. Auch bei den Oefen Fig. 108 und 109 ist die letztere Form gewählt.

In Fig. 104, 107, 112 liegt die Rast äusserlich frei und ist nur durch Eisenbänder umgeben, welche das Ausweichen der Steine unter dem Drucke der darauf lastenden Beschickung verhüten sollen. Das Gewicht der Rast muss von dem Gestelle getragen werden, welches ohnehin durch die Oeffnungen für die Windformen geschwächt ist. Je stärker das Gestell wegschmilzt, desto grösser wird die Gefahr, dass es die Rast nicht mehr genügend zu stützen vermag. Der Uebelstand wird beseitigt, wenn man die Rast mit einem von aussen getragenen Blechmantel umgiebt, welcher ihr Gewicht aufnimmt und solcherart das Gestell entlastet. Die Einrichtung, welche von Lürmann zuerst im Jahre 1867 bei einem Ofen der Georgs-Marienhütte zur Anwendung gebracht wurde,[2]) hat neuerdings häufige Benutzung gefunden. Auch bei den in Fig. 108 und 109 abgebildeten Hochöfen wird die Rast in dieser Weise getragen. Bei dem Ofen Fig. 108 ruht der Blechmantel auf den Säulen, welche den Schacht und die Gichtbühne tragen; bei dem Ofen Fig. 109 ist eine Gruppe kleinerer, ausschliesslich dem Zwecke dienender Säulen rings um die Rast herum aufgestellt.

Nur noch selten kommt statt der beschriebenen Steinzustellung für Hochöfen Massezustellung in Anwendung. Man stampft hierbei an Ort und Stelle aus feuerfester Masse — im Wesentlichen dem gleichen Materiale, aus welchem auch die Schamottziegeln gefertigt werden — den Boden und das Gestell, seltener auch die Rast, um ein Modell herum auf, trocknet vorsichtig und erhitzt schliesslich stärker, bis die Feuchtigkeit vollständig ausgetrieben ist und das Anblasen des Hochofens beginnen kann. Das Verfahren besass früher, bevor die Anfertigung gut brauchbarer feuerfester Ziegeln zu dem erforderlichen Grade der Vollkommenheit ausgebildet worden war, grössere Be-

1) Bei den Oefen mit Sandsteinzustellung der alten Zeit pflegte der Tümpel aus einem einzigen grossen, auf den Herdsteinen aufruhenden Steine zu bestehen.

2) Näheres hierüber: „Stahl und Eisen" 1887, Seite 569; vergleiche auch „Stahl und Eisen" 1895, Seite 120.

deutung als jetzt. Wo ein geeigneter feuerfester Thon zur Bereitung der Masse zu erlangen war, und wo man die nöthigen Erfahrungen in der Ausführung der Arbeit sich erworben hatte, fertigte man auf jene Weise Zustellungen ohne alle Steinfugen; diesem scheinbaren Vortheile aber steht der Nachtheil gegenüber, dass das eigentliche Brennen der Masse erst während des Betriebes selbst stattfindet und dass jeder hierbei etwa entstehende Riss eine Gefahr für die Haltbarkeit bildet.

Der in Fig. 102 auf Seite 406 abgebildete Hochofen ist mit solcher Massezustellung versehen.

Die Kühlungen.

Seitdem man beim Hochofenbetriebe anfing, mit erhitztem Winde zu blasen, dadurch die Temperatur im Verbrennungsraume steigernd, stellte sich die Nothwendigkeit heraus, das Ofenmauerwerk durch Kühlung vor rascher Zerstörung zu schützen.

Nur Wasserkühlung ist für diesen Zweck benutzbar; Luftkühlung würde keinen genügenden Erfolg bieten.

Die Wasserkühlung wird bewirkt, indem man einen höher gelegenen, ausreichend grossen Behälter mit Wasser gefüllt erhält und von hier aus das letztere ununterbrochen durch Rohrleitungen den betreffenden Theilen zuführt. Das benutzte und erwärmte Wasser fliesst unten ab.

Da die Temperaturen in verschiedenen Hochöfen nicht immer gleich sind, ist auch der Umfang der angewendeten Kühlvorrichtungen verschieden. Mit je heisserem Winde man arbeitet, desto höher ist die vor den Formen entwickelte Temperatur, desto stärker müssen die umgebenden Theile gekühlt werden; beim Betriebe auf graues Roheisen ist eine höhere Temperatur erforderlich als beim Betriebe auf gewöhnliches silicium- und manganarmes Weisseisen; beim Betriebe mit Koks, Steinkohlen, Anthraciten werden durchgängig höhere Temperaturen als beim Betriebe mit Holzkohlen im Verbrennungsraume erzeugt.

Zuerst waren es die Windformen, für welche die Anwendung einer Kühlung sich als nothwendig erwies. So lange man die Hochöfen nur mit kaltem Winde betrieb, bestanden die Windformen häufig nur aus einer kupfernen, kegelförmigen (nach innen sich verengenden) Hülse, welche in die Oeffnung des Gestells eingesetzt und mit feuerfestem Thon umstampft wurde; sobald man aber anfing, erwärmten Wind anzuwenden, erwies sich eine solche Form als unbrauchbar. Die Verbrennung ging rascher als zuvor, also in grösserer Nähe der Form, vor sich, und die entwickelte höhere Temperatur brachte die Form oft schon nach Verlauf weniger Stunden zum Schmelzen.

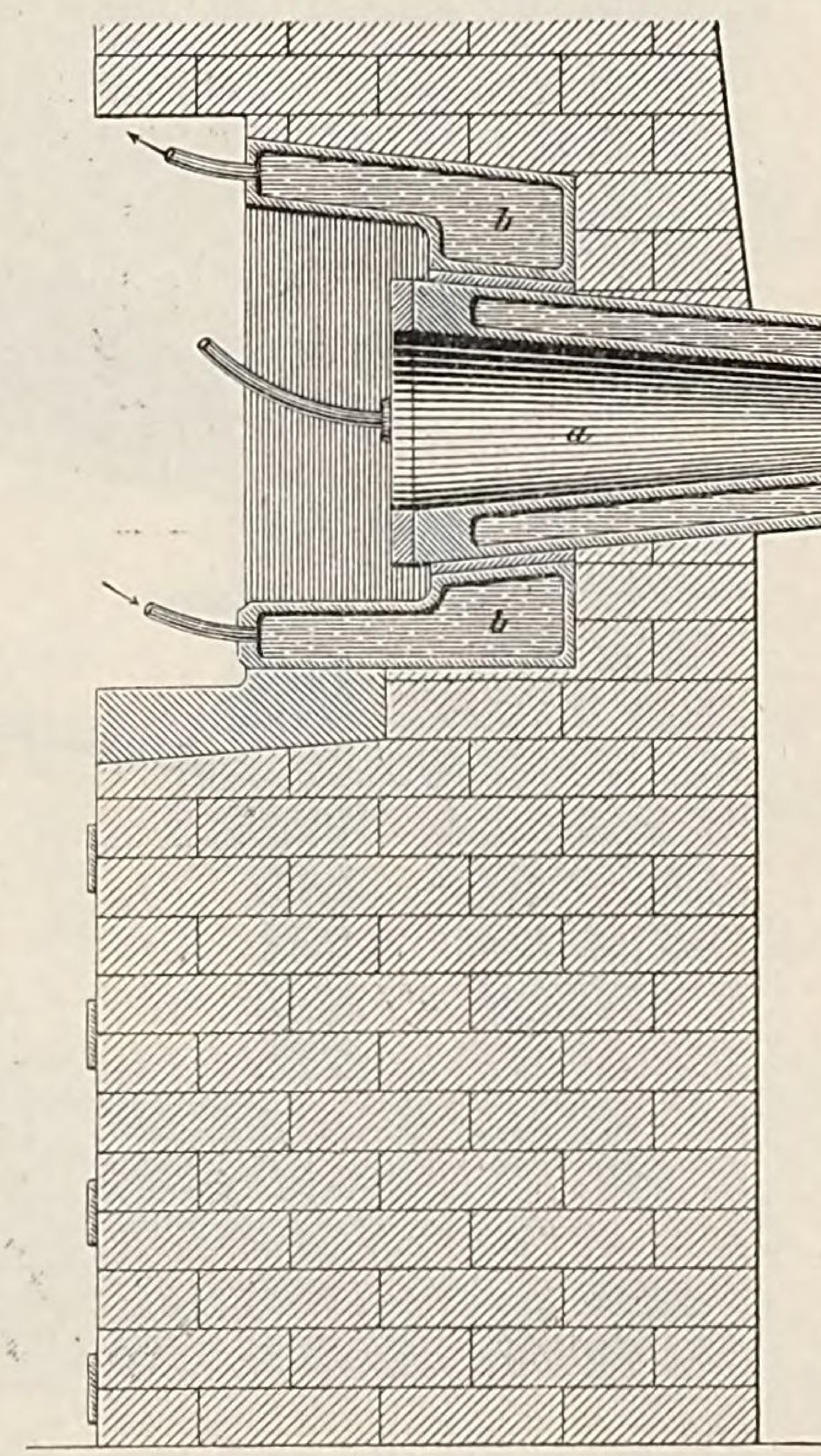
Bei allen Hochöfen wendet man deshalb jetzt wassergekühlte Formen an.

Im Laufe der Zeit sind ziemlich verschiedene Einrichtungen für die Kühlung der Formen getroffen worden. Die üblichste ist in Fig. 113 abgebildet. *a* ist die schlank konische Form. Sie hat doppelte Wände und an der Rückseite zwei Rohransätze einander gegenüber, an welchen die beiden Rohre für die Zu- und Ableitung des Wassers angeschlossen

werden (in der Abbildung ist das eine dieser Rohre sichtbar). Man giesst die Formen aus Bronze (gewöhnlich Phosphorbronze) oder man fertigt sie aus Kupferblech und löthet die ringförmigen Verschlussdeckel ein.

Um den Rüssel der Form, d. h. ihr vorderes, der Erhitzung am stärksten preisgegebenes Ende von angehäuftem Schlamm oder Kesselstein reinigen zu können, hat man bisweilen den hintern Verschlussdeckel zum Abnehmen eingerichtet, oder man hat die Form an der Rückseite offen gelassen und nur durch eingespritztes Wasser gekühlt. Die Einrichtungen haben sich jedoch selten dauernd bewährt.

Fig. 113.

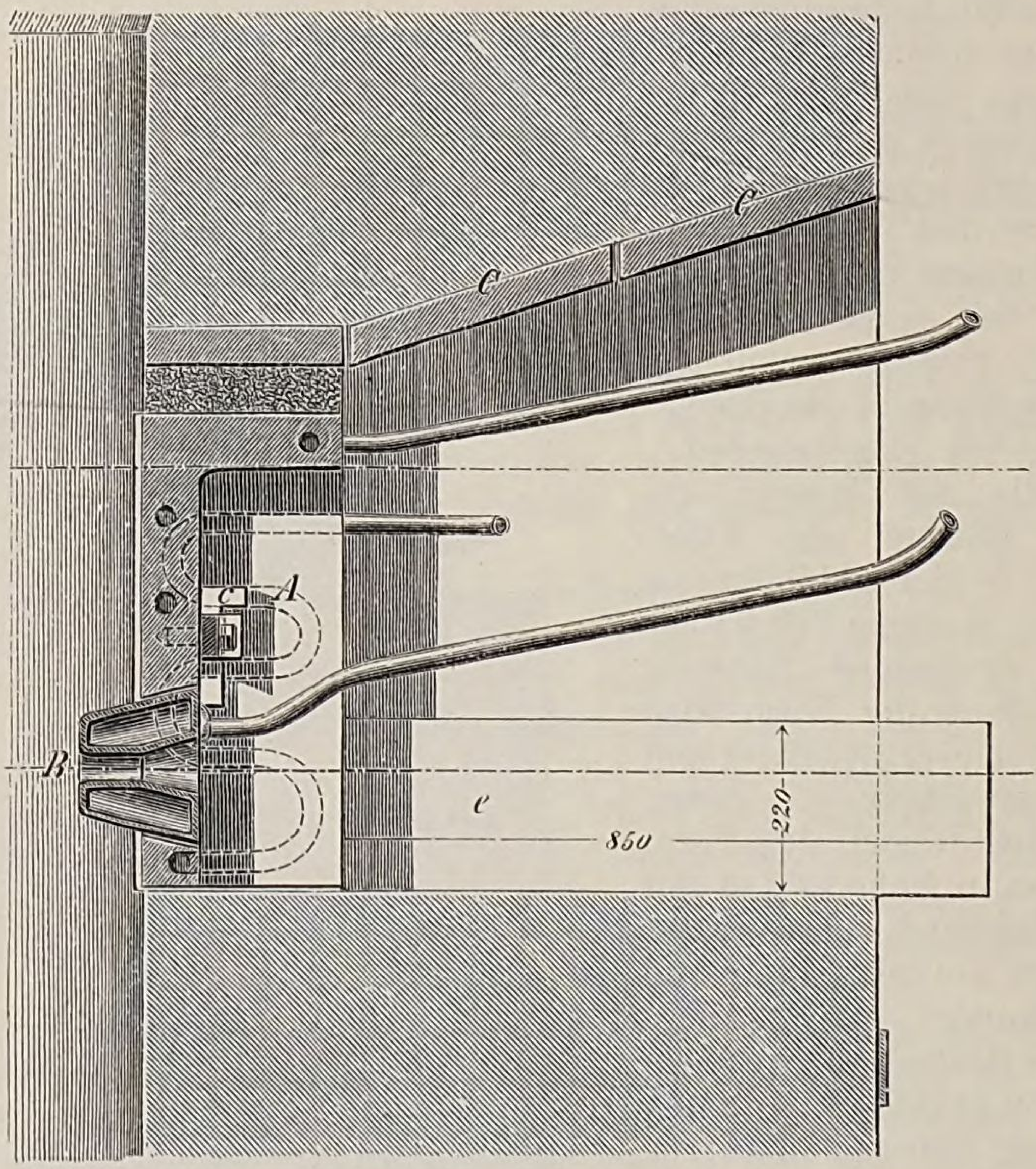


Bei kleinen Hochöfen setzt man die Form häufig unmittelbar in die im Gestellmauerwerk ausgesparte Oeffnung ein und verdichtet den Zwischenraum mit feuerfester Masse; bei grösseren Oefen dagegen befestigt man die Form in einem in das Gestellmauerwerk eingelassenen, gleichfalls mit Wasser gekühlten Rahmen oder Kühlkasten. In der Abbildung ist *b* dieser in einem Stücke aus Bronze gegossene Rahmen. Die Stellung der Form wird dadurch besser gesichert und das Auswechseln erleichtert.

Den Rüssel der Form liess man in früherer Zeit mit der Ofenwand abschneiden (Fig. 102 auf Seite 406), und bei kleineren, mit strengflüssiger Schlacke betriebenen Hochöfen ist diese Anordnung noch jetzt gebräuchlich. Die gekühlte Form würde, wenn sie aus der Gestellwand in das Innere hineinragte, zur Bildung erstarrter Ansätze Veranlassung geben, welche Stauungen der niedergehenden Massen bewirken und das Auswechseln der Form erschweren würden. Bei einer solchen Lage der Form ist es jedoch unvermeidlich, dass ein Theil des eintretenden Windes in geringer Höhe oberhalb der Formen an die Ofenwand zurückgedrängt wird. Die weitere Folge davon ist, dass das Gestell an dieser Stelle in starkem Maasse dem Wegschmelzen unterworfen ist und dass ein reichlicher Theil der Verbrennungsgase schon von vornherein an den Ofenwänden emporsteigt. Nach dem Ausblasen eines solchen Ofens wird dieser Vorgang gewöhnlich durch eine starke, über den Formen entstandene Ausbauchung des Gestells erkennbar.

Lässt man dagegen, wie bei der in Fig. 113 abgebildeten Form, den Rüssel in das Gestell hineinragen, so wird dieser Uebelstand vermieden. Der Wind gelangt bei vorgeschobenen Formen in einem weiteren Gestelle mit derselben Leichtigkeit bis zur Ofenmitte, wie in einem engeren mit zurückstehenden Formen, und der Umstand, dass die Widerstände für das Aufsteigen der Gase in dem weiteren Gestelle geringer sind als in einem engeren, erleichtert fernerhin jenes Vordringen des Windes und seine gleichmässige Vertheilung. Man erreicht

Fig. 114.



also durch Vorschieben der Formen, sofern man mit hocherhitztem Winde bläst, dasselbe Ziel, welches man früher bei Benutzung weniger heissen Windes durch Anwendung enger Gestelle anstrebte, ohne die grossen Nachtheile der engen Gestelle mit in den Kauf nehmen zu müssen.

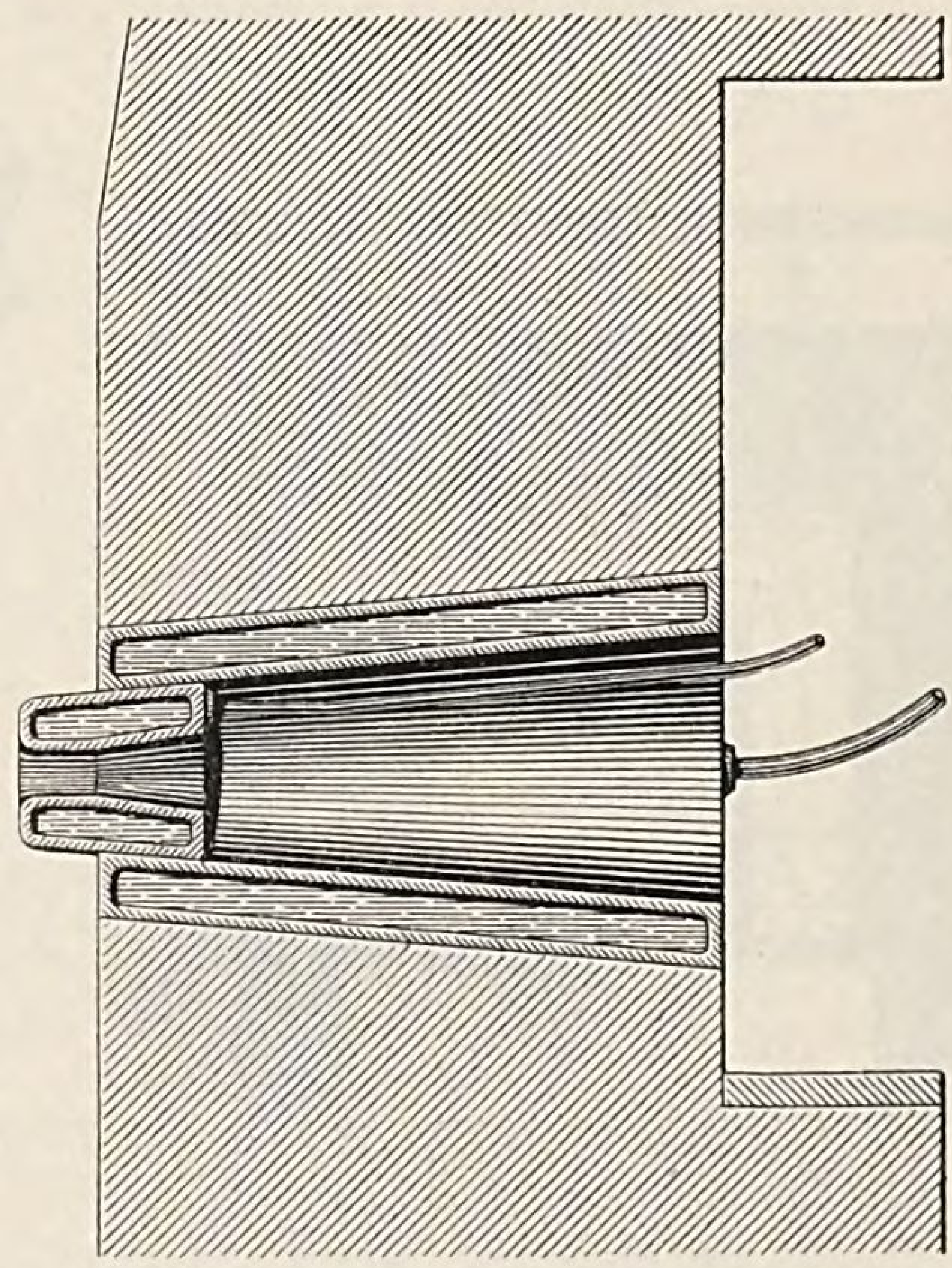
Wie weit die Formen vorgeschoben werden können, ohne dass eine Stauung der Windströme und dadurch eine Schädigung des Schmelzgangs eintritt, hängt von der anzuwendenden Windspannung (welche durch die Höhe des Ofens und die Beschaffenheit der Schmelzmaterialien bedingt ist) und dem Gestelldurchmesser ab. Nach Cochrane[1]) steigerte

1) „Stahl und Eisen" 1882, Seite 434, 555.

sich bei einem Ofen, dessen Gestelldurchmesser 2,44 m war und dessen Formen um 305 mm hineingeragt hatten, die Wochenerzeugung von 483 t auf 599 t, als man die Formen soweit zurückzog, dass sie nur noch 150 mm hineinragten. Der Brennstoffverbrauch in einer Woche nahm hierbei nur von 603 auf 630 t zu, war also, auf die Gewichtseinheit dargestellten Roheisens bezogen, ebenfalls günstiger, nachdem die Formen zurückgezogen worden waren.

Die Länge der Hochofenformen kann 30 bis 80 cm betragen. Der Durchmesser des „Auges“ der Form, d. h. der dem Ofen zugekehrten Oeffnung, durch welche der Wind austritt, ist gewöhnlich gleich dem Durchmesser der Düse (des Mundstücks der Windleitung) oder nur wenig grösser als dieser und demnach von der Windmenge, Windtemperatur, Windpressung und Anzahl der Formen abhängig. Bei den kleinen Hochöfen beträgt dieser Durchmesser bisweilen nicht mehr als 80 mm, bei grösseren 200 mm und darüber.

Fig. 115.



Ueber die Stellung der Formen gegen einander ist bereits auf Seite 401 Einiges mitgetheilt worden. Die Richtung der Formachse ist wagerecht.

Nachdem diese wassergekühlten Windformen sich seit Jahrzehnten bewährt hatten, führte Lürmann, wie bereits auf S. 396 erwähnt wurde, im Jahre 1867 eine ähnliche Einrichtung ein, um der Oeffnung zum Abfliessen der Schlacke bei Oefen mit geschlossener Brust einen Schutz gegen unbeabsichtigte Erweiterung durch die Schlacke zu geben, und er nannte diese Einrichtung Schlackenform. Die ursprüngliche Einrichtung der Lürmannschen Schlackenform ist in Fig. 114 dargestellt. *B* ist die eigentliche Schlackenform, aus Bronze hohl gegossen und mit Wasserkühlung versehen. Sie steckt in einem ebenfalls gekühlten Kasten *A*, den man früher aus Gusseisen mit eingegossenen, entsprechend gebogenen Schmiedeeisenrohren fertigte, wie in der Abbildung dargestellt ist, jetzt häufiger aus Bronze giesst, so dass er dem in Fig. 113 abgebildeten Kühlkasten gleicht. Nicht selten ersetzt man auch den eigentlichen Kühlkasten durch eine nach Art der Windformen gestaltete konische Hülse, wie in Fig. 115 dargestellt ist; bisweilen steckt man auch, um das Auswechseln der Schlackenform zu erleichtern, in die äussere längere Hülse zunächst eine zweite kürzere, welche ebenfalls gekühlt wird, und in diese erst die Schlackenform. In der Regel lässt man auch die Schlackenformen, wie die Windformen, etwas in den Ofen hineinragen, wie in den Abbildungen veranschaulicht ist. Der Durchmesser des Auges der Schlackenform muss von der zu erwartenden

Schlackenmenge abhängen; man findet dafür 25 bis 50 mm, bisweilen noch darüber. Damit die im Herde des Ofens befindliche Schlacke nicht in die Windformen eintreten kann, legt man die Mittellinie der Schlackenform 350 bis 900 mm tiefer als die Mittellinie der Windformen, abweichend nach den Abmessungen des Hochofens und der erfolgenden Schlackenmenge.

Bei den Oefen mit geschlossener Brust pflegt man auch den Roheisenstich zu kühlen. Fig. 116 und 117 zeigen die ältere Einrichtung, aus Gusseisenplatten mit eingegossenen Schmiedeeisenrohren bestehend; statt ihrer benutzt man jetzt häufiger, wie bei den Wind- und Schlackenformen, hohle Bronzekästen, welche indess übrigens die nämliche Gestalt wie jene besitzen. Anfänglich, beim Beginne des Betriebes wird nun die wagerechte Platte *F* eingelegt; die senkrechte Platte *G* kommt über-

Fig. 116.

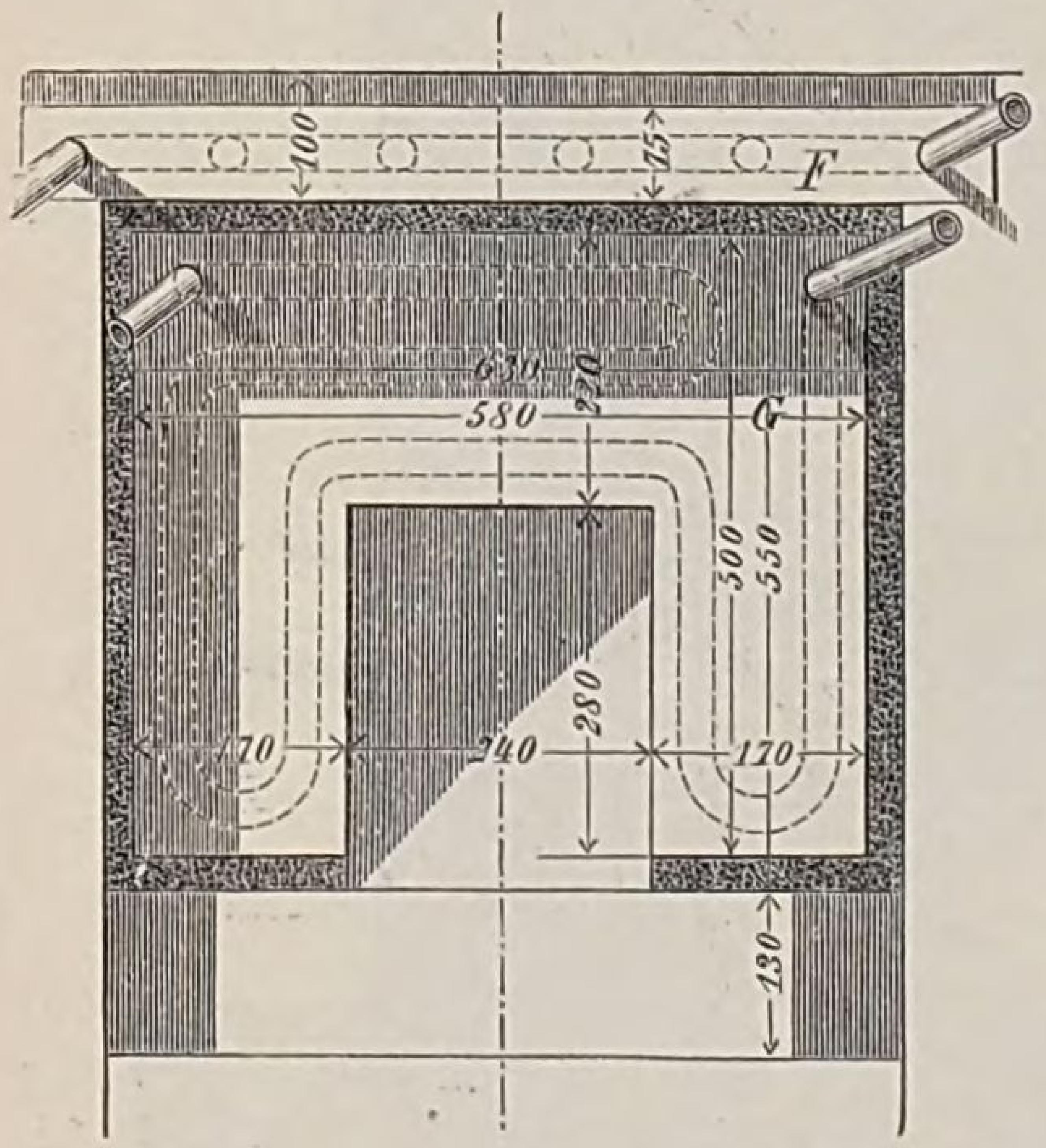
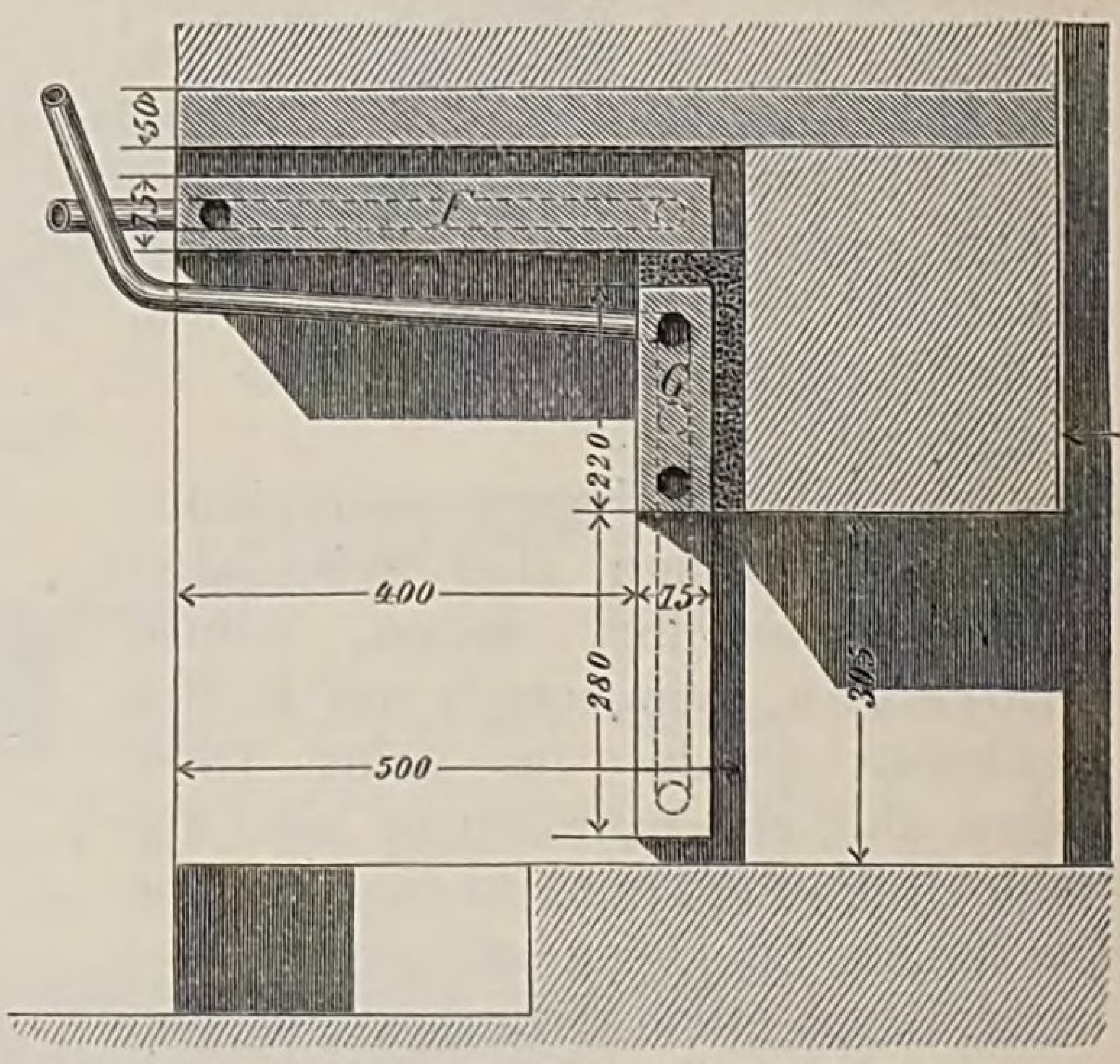


Fig. 117.



haupt nur dann zur Verwendung, wenn nach längerem Betriebe durch theilweises Wegschmelzen des Gestellmauerwerks ein Durchbruch des flüssigen Roheisens zu befürchten ist.

Bei Oefen mit offener Brust befindet sich das Stichloch in dem Wallsteine. Eine Kühlvorrichtung pflegt in diesem Falle nicht angewendet zu werden, da der Wallstein, wenn es erforderlich wird, sich ohne grosse Schwierigkeit auswechseln lässt. Dagegen ist eine Kühlung des Tümpeleisens, welches in steter Berührung mit der flüssigen Schlacke sich befindet, für dessen Haltbarkeit unerlässlich. Man fertigt das Tümpeleisen aus Gusseisen mit eingegossenem Kühlrohre. In Fig. 112 auf Seite 416 ist die übliche Form eines Tümpeleisens (in der Abbildung mit *g* bezeichnet) zu ersehen. Das Kühlrohr wird in Windungen hindurchgeführt.

Eine theilweise Kühlung der Ofenwände wird schon durch die Anwendung der Kühlkästen für die Windformen bewirkt; für Oefen jedoch, welche mit sehr heissem Winde betrieben werden, pflegt eine noch umfänglichere Kühlung des Mauerwerks im Gestell, der Rast und

selbst des höher gelegenen Schachts erforderlich zu sein, um dieses vor raschem Wegschmelzen zu schützen.

Der Zweck lässt sich in verschiedener Weise erreichen.

Man kann z. B. eine Anzahl eiserner oder bronzener Kühlkästen an verschiedenen Stellen des Ofengemäuers, ähnlich den Formkühlkästen, einlassen. Die Abbildungen Fig. 118 und 119 zeigen eine solche Einrichtung.[1]) In Fig. 118 sieht man drei Kühlkästen darunter den Kühlkasten der Windform; in Fig. 119 ist die äussere Ansicht der Kühlkästen und die Zu- und Ableitung des Wassers angedeutet. Man bedient sich des aus den Kästen der Windformen kommenden Wassers. Es steigt zunächst in das oben liegende 50 mm weite Sammelrohr *a*, tritt

Fig. 118.

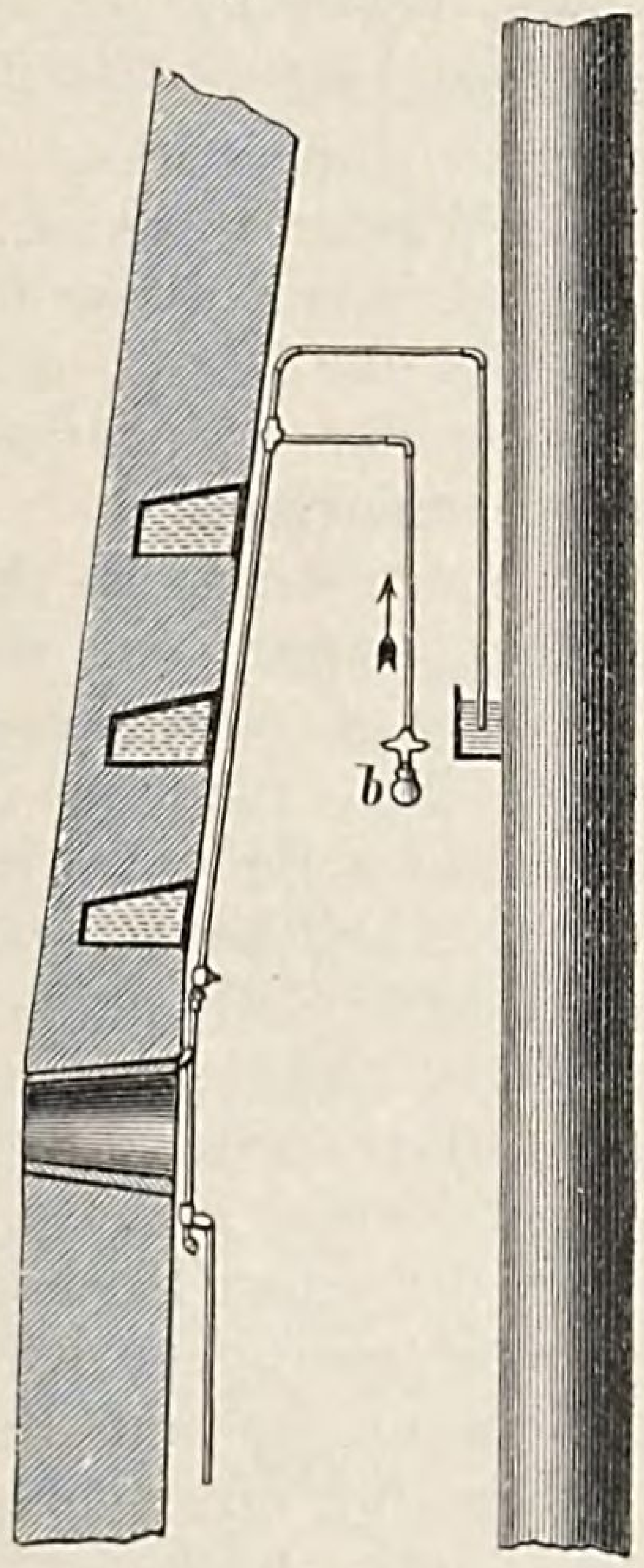
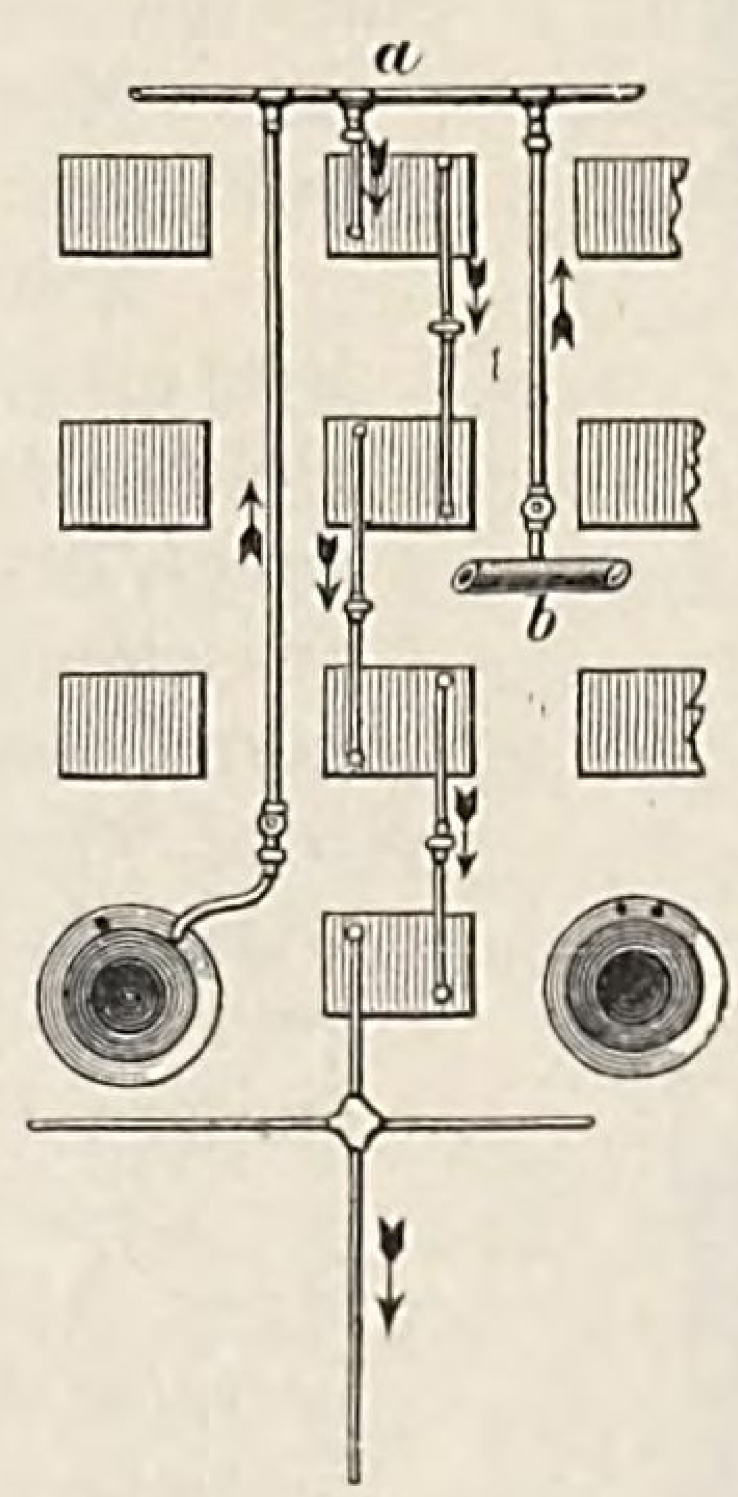


Fig. 119.



aus diesem in die oberen Kühlkästen, unmittelbar über deren Boden, fliesst oben ab, gelangt in die darunter befindlichen Kästen u. s. f., wie in Fig. 119 erkennbar ist. Von einer Hülfswasserleitung *b* aus kann man kälteres Wasser zuleiten, falls das von den Formen kommende Wasser nicht ausreichen sollte. Am oberen Rande oberhalb der Austrittsstelle für das Wasser haben sämmtliche Kästen eine Oeffnung, durch welche Dämpfe entweichen können.

Aehnliche Kühlkästen sind in der Rast des auf Seite 408 abgebildeten Ofens Fig. 104 sichtbar.

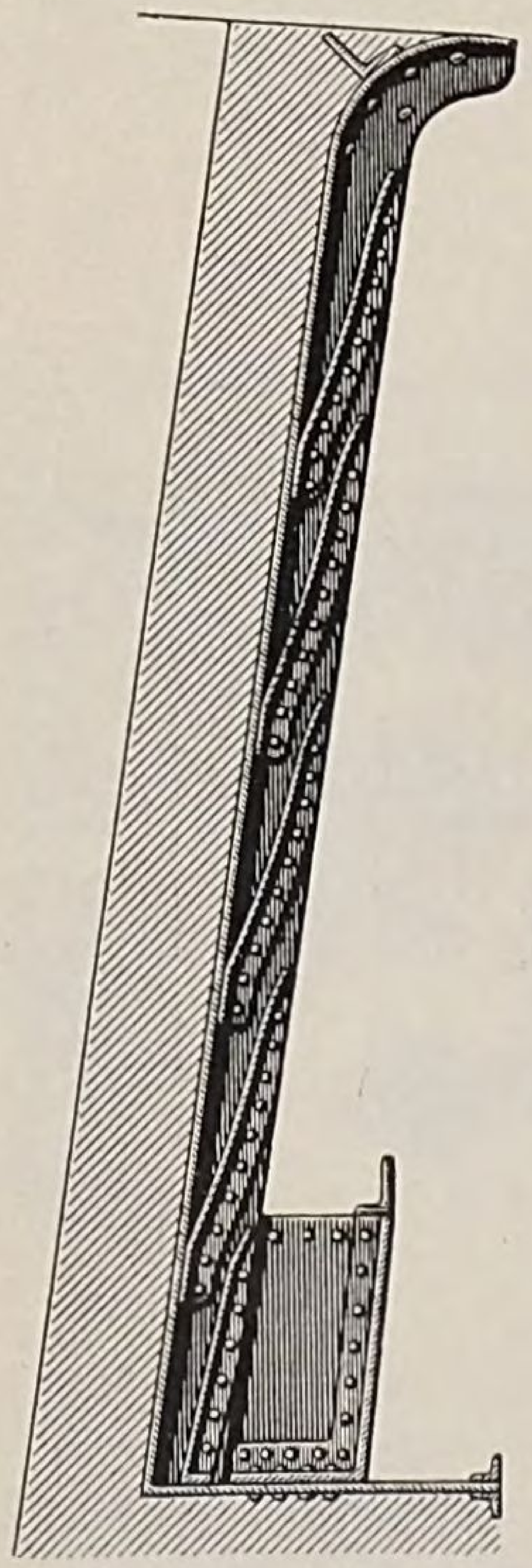
Mitunter hat man auch das ganze Gestell in der Höhe der Windformen mit bronzenen Kühlkästen versehen, welche mit den Kühlkästen

1) „Stahl und Eisen" 1892, Seite 425. Kühlung eines Hochofens der Cambria Iron Company in Pennsylvanien.

der Formen zusammen einen vollen Ring bilden und durch Eisenbänder oder einen gegossenen, die Füsse der Kühlkästen umschliessenden Ring zusammengehalten werden. Bei dem in Fig. 109 abgebildeten Hochofen ist z. B. diese Einrichtung getroffen. Man sieht links einen Kühlkasten mit Windform, rechts einen solchen ohne Windform; beide bilden Theile des ganzen Ringes.[1]) Durch eine solche Anordnung erhält zugleich das Rastmauerwerk eine Unterstützung.

Nicht selten berieselt man auch die Ofenwände durch Wasser, welches aus ringsherumlaufenden Röhren dagegen gespritzt wird, oder man umgiebt das Ofengemäuer an den zu kühlenden Stellen mit einem Gürtel aus Eisenblech und angenieteten Rinnen, welche mit Wasser gefüllt erhalten werden. In Fig. 120 ist eine solche, bei einem Holzkohlenofen der Pyrenäen angewendete Kühlung der Rast abgebildet.[2]) Der Gürtel besteht aus acht verbundenen Ringstücken mit je fünf Rinnen. Das frische Wasser strömt in die oberste Rinne, fällt aus dieser über ihren Rand hinweg in die zweite, dann in die dritte u. s. f. Auch bei dem Ofen Fig. 108 ist der untere Theil der Rast mit einem Kühlringe umgeben.

Fig. 120.



Schwierig ist eine wirksame Kühlung des Bodens zu erreichen, wenn er, wie noch bei vielen Oefen, von einem starken Mauerkranze umgeben ist. Mitunter lässt man in diesem Falle zwischen Mauerkranz und Boden einen Zwischenraum, der mit feucht erhaltenem Sande ausgefüllt wird (Fig. 107). Durch Oeffnungen im Mauerwerke kann das Wasser abfliessen. Legt man dagegen den Boden frei (Fig. 108), so lässt sich durch äussere Berieselung Kühlung erzielen.[3])

Die Menge des für einen Hochofen von grösseren Abmessungen erforderlichen Kühlwassers ist beträchtlich, zumal wenn er auf Roheisensorten betrieben wird, welche für ihre Darstellung hoher Temperaturen, also auch hocherhitzten Windes, bedürfen. Soviel als irgend möglich pflegt man das zum Kühlen der Windformen und Windformkästen benutzte Wasser auch noch zum Kühlen der übrigen Vorrichtungen zu benutzen; aber für eine einzige Windform pflegt man 60 bis 75 l Wasser in der Minute, für den zugehörigen Kasten 76 bis 100 l zu verbrauchen. Daher ist ein Gesammtverbrauch von 2 cbm Wasser in der Minute für einen Ofen nicht selten, und mitunter erhöht er sich auf

1) Ausführlichere Abbildung dieser durch van Vloten eingeführten Bauart: „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 123; einer ähnlichen, bei amerikanischen Hochöfen angewendeten Kühlung: „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 1061.

2) Nach Bulletin de la Société de l'Industrie minérale, série 3, t. 6, p. 373.

3) Beispiel der Berieselung eines gepanzerten Gestells und Bodens: „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 659.

das Doppelte. Steht eine diesem Verbrauche entsprechende Menge frischen Wassers nicht zur Verfügung, so benutzt man das ablaufende Kühlwasser wieder, nachdem es in einer geeigneten Vorrichtung (z. B. einer Dornenwand, auf der es in Tropfen niederfällt) wieder abgekühlt wurde.

In jedem Falle ist es zweckmässig, die Kühlung so zu regeln, dass das abfliessende Wasser nicht stärker als bis auf etwa 60° C. erwärmt wird.

Die Gichtbühne.

Für den Aufenthalt der Arbeiter, welche das Einschütten der Schmelzmaterialien zu besorgen haben, für das Zufahren der mit diesen Schmelzmaterialien gefüllten Karren vom Gichtaufzuge bis zur Gichtöffnung und das Abfahren nach geschehener Entleerung muss in der Höhe der Gichtöffnung eine ausreichend geräumige Bühne geschaffen werden.

Bei den früheren Oefen mit Rauhgemäuer war die obere Fläche des Mauerkörpers ausreichend gross genug, um als Gichtbühne zu dienen. Man hatte nur nöthig, sie mit eisernen Platten als Schutz gegen Nässe und Beschädigungen abzudecken und ringsherum mit einer etwa 3 m hohen Wand einzufassen, um den Gichtarbeitern einen Schutz gegen Sturm zu gewähren.

Bei den Oefen mit Blechmantel benutzt man diesen zur Befestigung eiserner Kragstücke, welche die Gichtbühne zu tragen bestimmt sind (Fig. 105 auf S. 409). Die benachbarten Kragstücke werden durch aufgeschraubte Eisenträger verbunden, zwischen welchen wieder kürzere Querstücke eingeschaltet werden können; schliesslich wird das ganze Trägernetz mit aufgeschraubten gerippten Eisenblechen abgedeckt. Eine am Umfange befestigte Wand aus Eisenblech verleiht auch hier den Arbeitern den erforderlichen Schutz.

Bei den Oefen mit freistehendem Schachte ist eine derartige Unterstützung der Gichtbühne nicht möglich. Man lässt sie durch vier oder mehr eiserne Säulen tragen, welche untereinander verstrebt und am Kopfe durch das Trägernetz verbunden sind, auf welchen die eigentliche Bühne gelagert ist. Die Säulen können zu ebener Erde auf Steinsockeln stehen; ist der Bodenstein durch einen starken Mauerkranz eingefasst, so pflegt man diesen auch zur Aufstellung der Säulen zu benutzen (Fig. 107), und bei neueren Anlagen hat man in zweckmässiger Weise den zum Tragen des Schachts dienenden eisernen Ständern eine solche Form gegeben, dass auf ihnen jene Tragsäulen für die Gichtbühne befestigt werden können (Fig. 108). Man spart dadurch an Höhe für die letzteren und beengt weniger den Raum rings um das Gestell.

Fehlerhaft würde es sein, den Schacht des Hochofens zum Tragen der Gichtbühne zu benutzen und ihn dadurch den Erschütterungen auszusetzen, welche diese durch die darüber rollenden, mit Erzen und Kohlen beladenen Karren erleidet. Ausserdem muss der Umstand berücksichtigt werden, dass beim Anblasen des Ofens der Schacht sich in der Höhenrichtung ausdehnt (wächst), und zwar pflegt diese Höhen-

zunahme 2 bis 3 v. H. der ursprünglichen Höhe zu betragen, bei den Oefen mit Rauhgemäuer am meisten, bei den freistehenden Schächten am wenigsten. Die Gichtbühne muss also in solcher Höhe über der Oberkante des noch kalt liegenden Ofens angeordnet werden, dass dieses Wachsen möglich ist, ohne dass die Gichtbühne gehoben wird, und den nach beendigtem Wachsen etwa gebliebenen Zwischenraum zwischen Bühne und Oberkante kann man später durch Einsatzstücke ausfüllen.

Bei solcher Einrichtung ist es jedoch, wenn man die Gichtbühne nicht in feste Verbindung mit dem Schachte bringt, also diesen nicht den erwähnten Erschütterungen aussetzen will, schwer vermeidlich, dass unverbrannte Gase aus dem Schachte seitlich entweichen und den auf der Bühne befindlichen Arbeitern gefährlich werden. Der Uebelstand lässt sich vermeiden oder doch wesentlich verringern, wenn man nach Lürmanns Angabe[1]) an der Bühne eine Art Stopfbuchse befestigt, in welcher der Schacht wachsen kann, ohne dass ein Spalt, aus welchem die Gase entweichen können, vorhanden zu sein braucht. Sie besteht aus einem durch einen Eisenblechring getragenen und an der Gichtbühne befestigten Steinringe, in welchem sich ein auf dem Schachte angebrachter Gusseisen- oder Steinring verschieben kann. In Fig. 121 und 122 sind beispielsweise zwei Anordnungen solcher Lürmannscher Stopfbuchsen gezeichnet; *a* ist hier der von der Gichtbühne niederhängende Ring, *b* der Aufsatz auf dem Schachte. Mit einer Stopfbuchse von noch etwas anderer Form ist der in Fig. 108 abgebildete Ofen versehen.

Fig. 121.

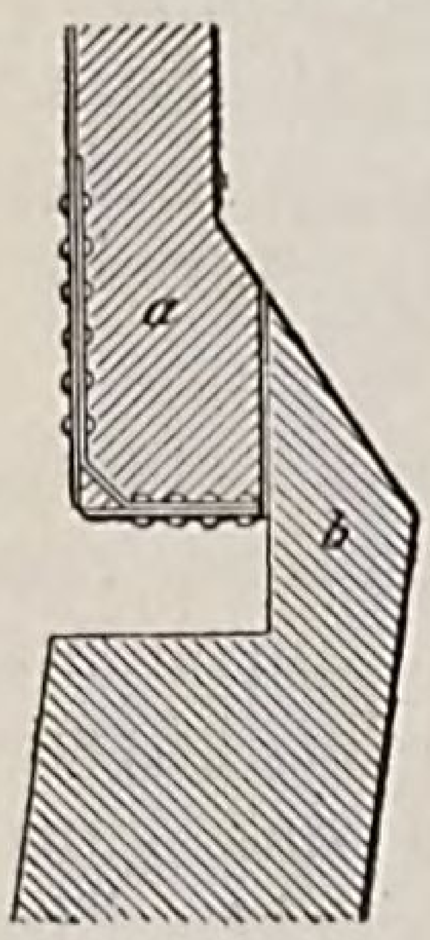
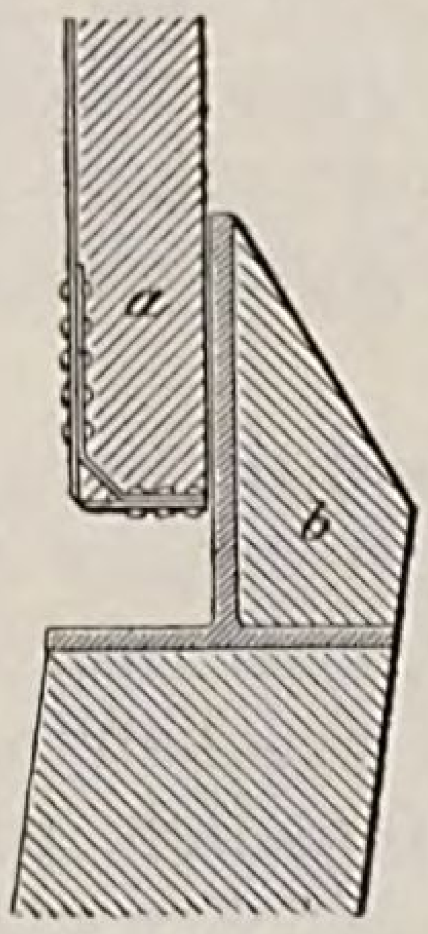


Fig. 122.



Die Gichtbühnen benachbarter Hochöfen von gleicher Höhe werden durch eine eiserne Brücke mit einander verbunden. Ebenso wird der Gichtaufzug (siehe unten) mit der Gichtbühne in Verbindung gesetzt. Eine Treppe — gewöhnlich eine eiserne Wendeltreppe — an geeigneter Stelle ermöglicht die Ersteigung der Bühne.

4. Die Vorrichtungen zur Entziehung, Reinigung, Fortleitung und Verbrennung der Gichtgase.

Allgemeines. Geschichtliches.

Die Eigenthümlichkeiten des Eisenhochofen-Schmelzens machen es unvermeidlich, dass die aus der Gicht entweichenden Gase noch eine ziemlich bedeutende Menge von Kohlenoxyd enthalten, also eines Brennstoffs von hohem Brennwerthe. Die Höhe des Kohlenoxydgehalts richtet sich nach der Zusammensetzung der Beschickung und der Art des Betriebes, beträgt aber durchschnittlich etwa 24 v. H. von der Raummenge der Gase, also fast so viel, als in den aus Steinkohlen im

1) „Stahl und Eisen" 1892, Seite 221; 1895, Seite 118.

Luftgaserzeuger gewonnenen Gasen enthalten ist (Seite 107), und daneben befinden sich gewöhnlich noch einige Hunderttheile Wasserstoff und Kohlenwasserstoff (Seite 104).

Welche grossen Mengen nutzbaren Brennstoffs in dieser Weise täglich aus dem Hochofen entweichen, lässt sich unschwer berechnen. Auf je 1 kg Brennstoff, welcher dem Hochofen zugeführt wird, entweichen aus der Gicht im Mittel etwa 4,5 cbm Gas mit 1,1 cbm Kohlenoxyd.[1]) Grössere Kokshochöfen pflegen täglich mindestens 100 t, nicht selten 150 t und mehr Brennstoff zu verbrauchen. Bei einem Verbrauche von 100 t entweichen demnach 110000 cbm Kohlenoxyd täglich, oder in der Sekunde 1,25 cbm, durch deren Verbrennung in der Sekunde 3750 W.-E. entwickelt werden können.[2]) Hierbei ist die durch Verbrennung des in den Gichtgasen miterfolgenden Wasserstoffs und Kohlenwasserstoffs entwickelte Wärme noch unberücksichtigt geblieben. Gemäss dem mechanischen Aequivalent der Wärme würde jene Wärmemenge einer Arbeitsleistung von mehr als zwanzigtausend Pferdestärken entsprechen, und wenn auch in Rücksicht auf die unvermeidlichen Wärme- und Arbeitsverluste bei unseren Feuerungsanlagen und Maschinen von jener theoretischen Leistung nur ein verhältnissmässig kleiner Theil wirklich nutzbar gemacht werden kann, so erklärt sich doch zur Genüge, dass die Wärmeerzeugung durch Verbrennung der Gichtgase bei nur einigermaassen zweckmässigen Einrichtungen ausreichend zu sein pflegt, sowohl den erforderlichen Dampf für die zum Betriebe des Hochofens erforderlichen Maschinen (Gebläse, Gichtaufzüge, Pumpen) zu liefern, als auch daneben den Gebläsewind auf eine hohe Temperatur zu erwärmen, und dass in manchen Fällen noch Gas für Nebenzwecke übrig bleibt. Von der gesammten Gaserzeugung eines grösseren Hochofens pflegt ein Viertel bis ein Drittel für die Winderhitzung benutzt zu werden, die genannten, für die Zwecke des Hochofens allein betriebenen Maschinen gebrauchen bei zweckmässigen Heizvorrichtungen ein Drittel bis die Hälfte des Gases; der Rest kann demnach zum Betriebe sonstiger Vorrichtungen (z. B. von Dynamomaschinen für elektrische Beleuchtung) Verwendung finden. Bei kleineren Anlagen ist man dagegen mitunter gezwungen, noch Kohle zur Dampfkesselfeuerung mit zu verwenden. Statt mit dem Gase Dampfkessel zu heizen, hat man neuerdings angefangen, unmittelbar Gaskraftmaschinen damit zu treiben und so die Dampfkesselanlage entbehrlich zu machen. Das Verfahren ist noch zu neu, um ein abschliessendes Urtheil über seine Zweckmässigkeit zu ermöglichen; wenn es sich bewährt, wird dadurch eine erhebliche Vereinfachung der ganzen Hochofenanlage erzielt werden können (vergleiche Litteratur).

Obschon also wirthschaftliche Gründe eine genügende Veranlassung zur Benutzung der Gichtgase zu geben vermögen, und obschon die

1) Die Ziffer ist abhängig von der Zusammensetzung der Beschickung, dem Verlaufe der Reduction (durch Kohle oder durch Kohlenoxyd) und anderen Umständen. Ermittelungen hierüber: C. Stöckmann, Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, Ruhrort 1876, Seite 35; Gruner-Steffen, Analytische Studien über den Hochofen, Wiesbaden 1875; Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 2 (Friderici); „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 591 (Gredt).

2) 1 cbm Kohlenoxyd wiegt 1,25 kg; 1 kg entwickelt 2400 W.-E. (Seite 51), also 1 cbm 3000 W.-E.

lebhafte, unter starker Wärmeentwickelung aus der Gicht herausschlagende Flamme eines Hochofens, dessen Gase nicht entzogen wurden, längst auf deren Brennwerth hätte aufmerksam machen können, liess man doch bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts diese Gase ziemlich unbenutzt entweichen oder verwendete höchstens die von der Gichtflamme selbst ausgehende Wärme zum Trocknen von Gussformen oder für ähnliche untergeordnete Zwecke. Da die Hochöfen der damaligen Zeit meistens noch mit Wasserkraft betrieben, die Winderhitzung aber weit später eingeführt wurde und die Preise des Brennstoffs verhältnissmässig gering waren, fehlte eben die Veranlassung zu umfänglicheren Versuchen in dieser Richtung.

Diese Verhältnisse erklären es auch, dass die ersten grösseren Versuche zur Benutzung der Gichtflamme, welche 1809 durch Aubertot auf einer Eisenhütte des Cher-Departements[1]) angestellt wurden, sich auf die Heizung von Oefen erstreckten, welche ohne alle Beziehung zum Hochofenschmelzen standen: Cementiröfen, Kalkbrennöfen u. a. Man baute die betreffenden Vorrichtungen auf die Gicht des Ofens und liess die Gichtflamme, ohne die Gase dem Hochofen selbst zu entziehen, hindurchstreichen. Von einer Gasfeuerung im engeren Sinne konnte demnach bei diesem Verfahren noch nicht die Rede sein.

Die ersten erfolgreichen Versuche, die Gase im unverbrannten Zustande dem Hochofen zu entziehen, um sie an einem beliebigen andern Orte zu verbrennen, wurden erst im Jahre 1837 von Faber du Faur in Wasseralfingen gemacht, und der Erfolg gab dann letzterem die Anregung zur weiteren Ausbildung der Gasfeuerung überhaupt und zur Darstellung von Heizgasen in besonderen Gaserzeugern.[2])

Ziemlich lange dauerte es jedoch, bis das Verfahren sich einer allgemeineren Anwendung erfreuen konnte. Obgleich inzwischen die vermehrte Anwendung von Dampfkraft für den Hochofenbetrieb sowie die Einführung der Anwendung erhitzten Windes die Veranlassung zur Benutzung der Gichtgase näher als früher gerückt hatte, gelang es doch häufig nicht, die Gase in solcher Weise dem Hochofen zu entziehen, dass nicht eine Schädigung des regelrechten Verlaufs des Hochofenschmelzens damit verknüpft gewesen wäre. Man beging gewöhnlich den Fehler, die Gase aus einer allzu tiefen Zone des Hochofens abzuleiten, ehe sie noch ihre Aufgabe, als Reductionsmittel zu dienen, erfüllt hatten; bei der geringeren Höhe der damaligen Oefen rächte sich dieser Fehler durch Vermehrung der Reduction durch festen Kohlenstoff (Seite 287) und demnach Erhöhung des Brennstoffverbrauchs. Was auf der einen Seite gewonnen wurde, ging durch diese üble Folge der falsch angelegten Gasentziehung wieder verloren.

Infolge dieser Misserfolge kehrte man vielfach wieder zu dem von Aubertot mehrere Jahrzehnte zuvor eingeführten Verfahren zurück: man legte die zu heizenden Oefen — Dampfkessel und Winderhitzer — auf die Gicht des Hochofens, so dass sie von der bereits gebildeten

1) Journal des mines, vol. 35 (1814), p. 375.

2) Vergleiche Seite 101. Näheres über die Erfindung: J. Schall, Geschichte des Hüttenwerks Wasseralfingen, Stuttgart 1896; daraus in „Stahl und Eisen" 1896, Seite 859.

Gichtflamme getroffen wurden, und noch in den siebziger Jahren konnte man bei einzelnen Holzkohlenhochöfen eine derartige Einrichtung antreffen.

Je höher aber die Oefen gebaut wurden, als desto schwerfälliger, unzweckmässiger musste sich eine solche Anordnung erweisen, während andrerseits die nachtheiligen Einflüsse der Gasentziehung sich verringerten, wenn der Ofen grössere Abmessungen erhielt, und schliesslich vollständig verschwanden, nachdem man geeignetere Einrichtungen als früher für die Ableitung der Gase getroffen hatte.

Es ist deshalb in der Jetztzeit allgemein üblich, die Gase im unverbrannten Zustande dem Hochofen zu entziehen und sie in Leitungen nach den auf ebener Erde befindlichen zu heizenden Vorrichtungen zu führen. Die Einrichtungen aber, mit deren Hülfe dieses Ziel erreicht wird, sind ziemlich mannigfaltig.

Die Gasfänge.

Allgemeine Anordnung.

Einen Gasfang nennt man eine am Hochofen angebrachte Vorrichtung, welche die im Ofen entwickelten Gase, bevor sie mit der Luft in Berührung treten und verbrennen können, aufnimmt, und aus welcher sie alsdann durch Leitungen ihrem Bestimmungsorte zugeführt werden.

Bei Faber du Faurs Gasfang dienten Oeffnungen, welche im Ofenschachte unterhalb der Gicht ausgespart waren und in einen um den Schacht herumlaufenden Kanal mündeten, zum Austreten der Gase. Die Beschickungssäule oberhalb der Oeffnung musste als Absperrung dienen; je tiefer unterhalb der Gicht demnach die Oeffnungen lagen, desto vollständiger wurden die Gase entzogen. Hieraus entstand der erwähnte Misserfolg, welcher sich um so mehr geltend machte, je kleiner der Ofen war.

Eine ganze Gruppe von Gasfängen, welche theilweise jetzt noch in Benutzung sind, beruht jedoch auf denselben Grundsätzen, wie der von Faber du Faur erfundene: offene Gicht und Absperrung durch die Beschickung selbst.

Wenn bei den grösseren Hochöfen der Jetztzeit jene besprochene Benachtheiligung des Schmelzganges durch die Entziehung der Gase unterhalb der Beschickungsoberfläche keine Rolle mehr spielt, sofern man die Austrittsöffnungen nicht allzu tief im Ofen anordnet, so ist doch bei offener Gicht, eben weil jene Oeffnungen nicht sehr tief liegen dürfen, eine vollständige Entziehung der Gase nicht möglich. Ausserdem wechselt die Menge der gewonnenen Gase stetig während des Schmelzens; sie ist unmittelbar nach dem Aufschütten, wo die über den Oeffnungen lagernde Beschickung den grössten Widerstand gegen das Aufsteigen bietet, am beträchtlichsten und verringert sich mit dem Niedergehen der Beschickungsoberfläche. Durch eine Nachlässigkeit oder durch zufällige Vorkommnisse kann es geschehen, dass die Beschickungsoberfläche bis unter die Gasentziehungs-Oeffnungen sinkt; die Gasentziehung hört alsdann ganz auf.

Man schloss also später vielfach die Gicht durch einen aufgelegten Deckel, welcher die Gase zwang, sämmtlich in die Leitung einzutreten,

gleichviel ob die Beschickungsoberfläche hoch oder niedrig stand, ja selbst dann, wenn die Entziehungsöffnungen oberhalb der Beschickungsoberfläche sich befinden sollten. Dieser Deckel muss aber bei jedem frischen Aufschütten emporgehoben werden, und je längere Zeit dieses Aufschütten beansprucht, desto grösser ist hierbei der Gasverlust. Der Nachtheil lässt sich abmindern, wenn man den Gichtverschluss so einrichtet, dass die aufzuschüttenden Körper, während die Gicht noch verschlossen gehalten wird, rings um den Verschluss herum angehäuft werden können, um dann rasch in die Gicht einzustürzen, sobald der Verschluss geöffnet wird. Die Zeitdauer des Oeffnens wird hierdurch abgekürzt; nothwendig ist es jedoch, dem Gichtverschlusse eine solche Einrichtung zu geben, dass die beim Oeffnen einstürzenden Körper sich im Ofen selbstthätig so vertheilen, wie es zur Erzielung eines regelmässigen Schmelzgangs erforderlich ist. Da beim Niedergange der Schmelzsäule die Erze als die schwereren Bestandtheile das Bestreben besitzen, um die Achse des Ofens herum sich anzuhäufen, hier den Gasen den Durchgang erschwerend, ist es meistens zweckdienlich, beim Aufgichten die Erze am Umfange, die Brennstoffe um die Mitte des Ofenquerschnitts herum aufzuschütten, ausserdem aber thunlichst eine Auflockerung der einstürzenden Körper um die Ofenachse herum zu bewirken. Die unten gegebenen Beispiele solcher Gasfänge mit Gichtverschluss und selbstthätiger Aufgichtung werden erkennen lassen, in welcher Weise dieses Ziel erreicht ist.

Beispiele bewährter Gasfänge.

Pfortscher Gasfang, von dem Hüttenmeister Pfort in Veckerhagen im Jahre 1842 erbaut[1]) und seitdem auf zahlreichen Eisenwerken benutzt. Die Abbildung Fig. 123 lässt seine Einrichtung erkennen. In die Gicht wird ein aus Gusseisen oder Eisenblech gefertigter Cylinder *a* eingehängt, dessen innerer Raum die eigentliche Gichtöffnung bildet. Zwischen diesem und der Ofenwand ist ein ringförmiger Kanal *b* von 25 bis 50 cm Breite ausgespart, in welchen die Gase eintreten, um von hier durch das Rohr *c* ihrem Verbrauchsorte zugeführt zu werden. Nicht selten hat man auch statt des einen Ableitungsrohres deren mehrere an verschiedenen Stellen des Umfangs angebracht, um solcherart der Gefahr zu begegnen, dass die Gase beim Aufsteigen zu sehr nach der Seite des Ofens, wo jenes Rohr sich befindet, hingezogen werden.

Der Kanal *b* wird am besten in der Weise hergestellt, wie die Abbildung veranschaulicht, d. h. durch eine Erweiterung des gemauerten Schachts an der betreffenden Stelle. Der Durchmesser des Eisencylinders stimmt dann mit dem Schachtdurchmesser unterhalb dieser Stelle überein, und die Ofenbeschickung rückt gleichmässig abwärts. Bisweilen führt man auch den Ofenschacht ohne jene Erweiterung bis

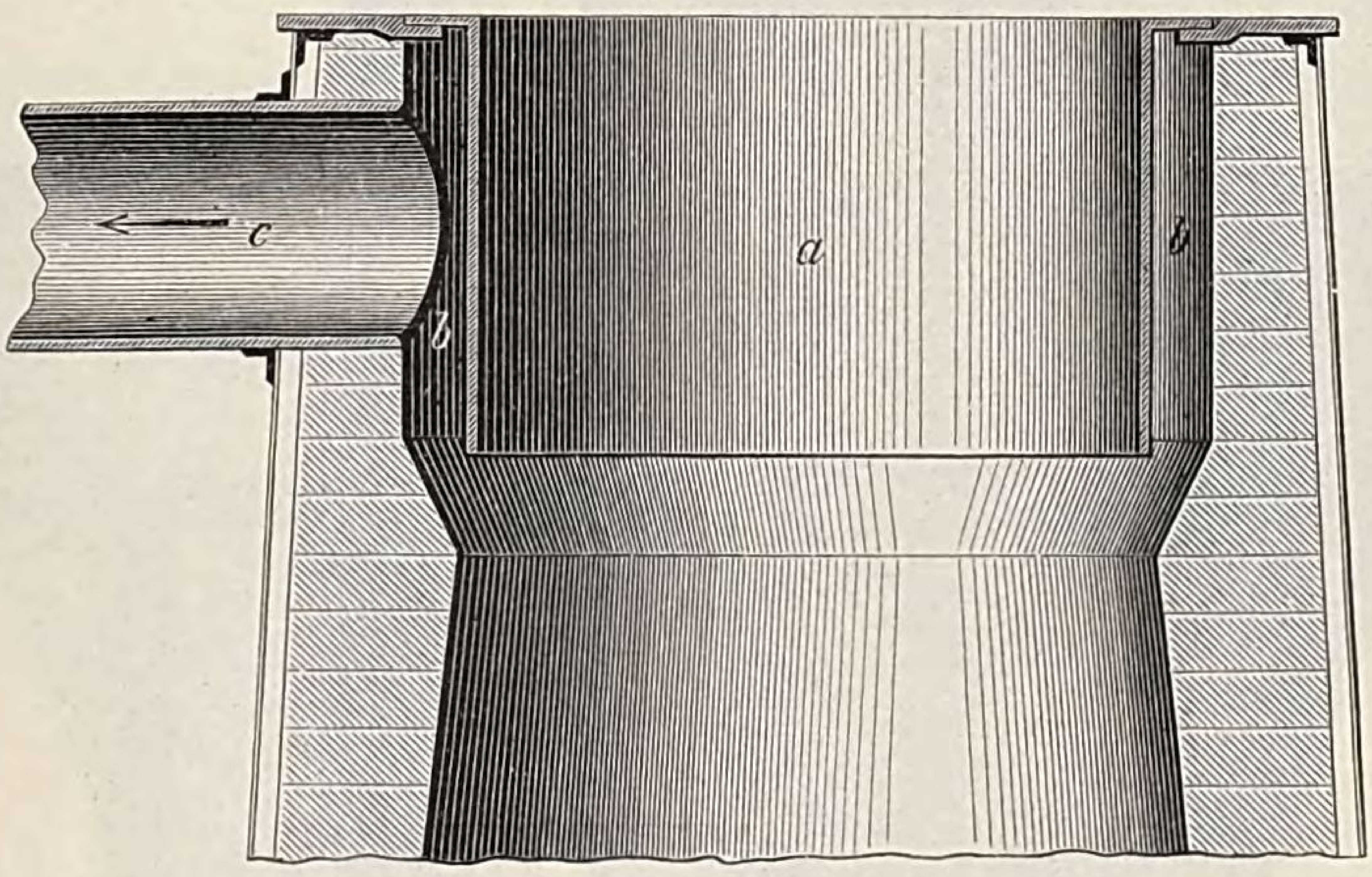
1) C. Pfort, Der Flammofenbetrieb mit brennbaren Gasen zu Veckerhagen. Studien des Göttingenschen Vereins bergmännischer Freunde 1842, Seite 1. Nach Ludw. Beck (Geschichte des Eisens, Band 4, Seite 516) ist dieser Gasfang zuerst von den Franzosen Thomas und Laurent eingerichtet und erst später in etwas geänderter Form durch Pfort benutzt worden. Man nennt ihn auch belgischer Gasfang oder mit der in Belgien und Frankreich üblichen Bezeichnung Trémie.

zur Gicht und giebt dem Cylinder einen entsprechend kleineren Durchmesser, so dass die Beschickung, sobald sie unter den Rand des Cylinders gelangt, eine Ausbreitung erfährt.

Den Cylinder pflegt man an seinem oberen Ende mit einem herumlaufenden Borde zu versehen, mit welchem er in einem Gusseisenkranze hängt, der auf dem Ofenschachte aufruht. Auf diese Weise ist eine leichte Auswechselung möglich. Nicht selten hat man auch, wie bei dem in Fig. 102 auf Seite 406 abgebildeten Ofen, den obersten Theil des Ofenschachts vollständig aus Eisen hergestellt, gewissermaassen als Aufsatz auf den gemauerten Schacht, wodurch das Einhängen des Cylinders, sowie die Anbringung der Abzugsrohre noch erleichtert wird.

Der Pfortsche Gasfang zeichnet sich durch grosse Einfachheit aus, ist billig in der Anlage und leicht auswechselbar. Diese Vorzüge erklären es, dass er bis zur Jetztzeit Verwendung gefunden hat, zumal bei Holzkohlenhochöfen, welche leicht reducirbare Erze verhütten. Will

Fig. 123.



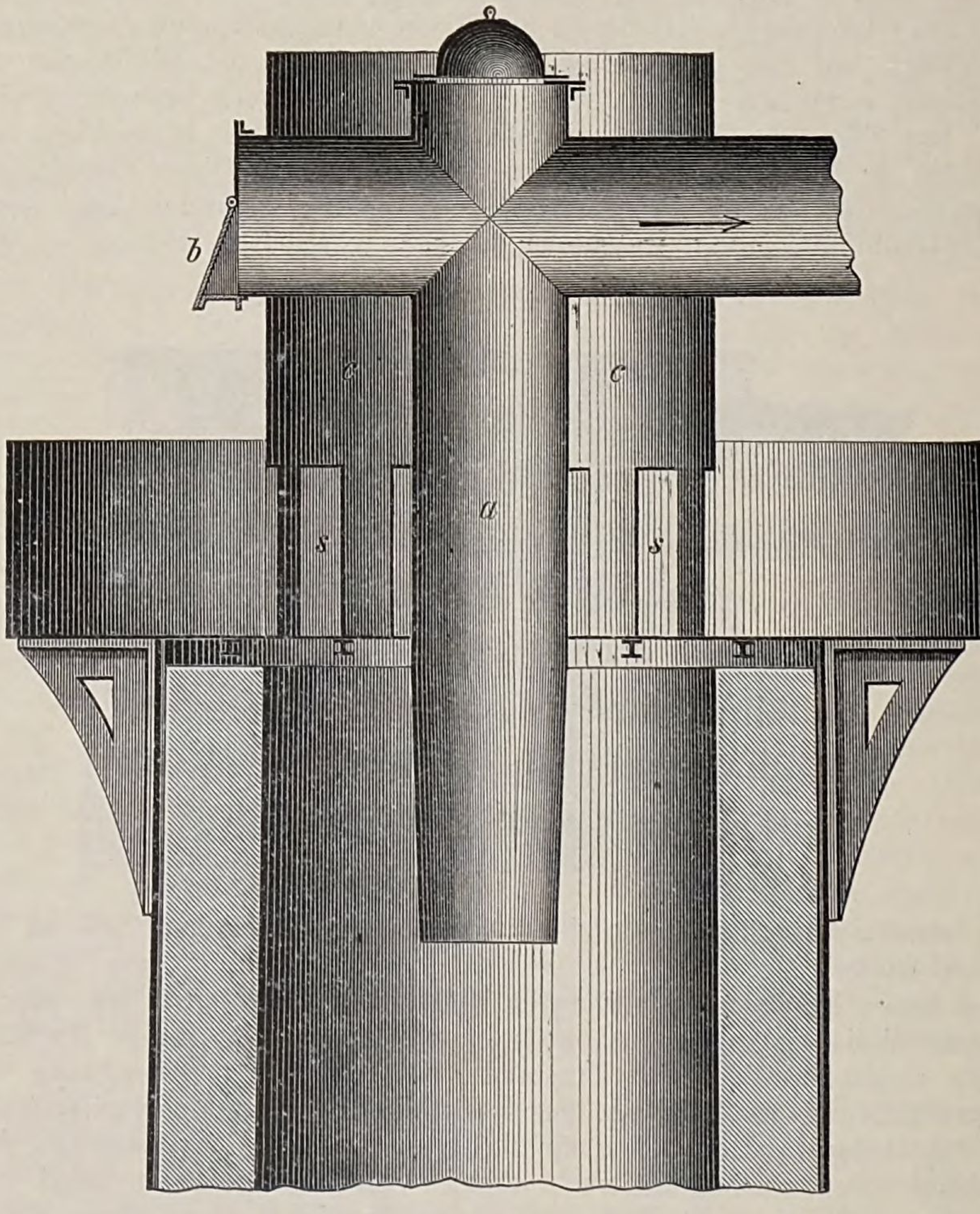
man eine vollständigere Entziehung der Gase erreichen, als es bei offener Gicht möglich ist, so schliesst man die Gicht, wie erwähnt, durch einen Deckel, welcher durch Ketten mit Gegengewichten oder in anderer Weise gehoben und gesenkt werden kann. Einen Nachtheil dieses Gasfangs bildet der Umstand, dass durch die Anordnung der Austrittsöffnung am Umfange des Schachts dem ohnehin vorhandenen, für den Gang des Hochofens nachtheiligen Bestreben der Gase, an dem Umfange emporzusteigen, noch mehr Vorschub geleistet wird. Je schwerer reducirbar die Erze sind, desto deutlicher muss dieser Uebelstand zur Geltung gelangen.

Darbys Gasfang (Centralrohr). Dieser Gasfang wurde in der Mitte der fünfziger Jahre dieses Jahrhunderts eingeführt und hat den Zweck, durch Entziehung der Gase aus der Mitte des Ofens jenen erwähnten, dem Pfortschen Gasfange anhaftenden Nachtheil zu beseitigen. Die Abbildung Fig. 124 (a. f. S.) zeigt seine Einrichtung.

a ist das aus Eisenblech gefertigte Rohr, welches an seinem oberen Ende in das wagerechte (bei neueren Anlagen gewöhnlich

schräg abwärts führende) Ableitungsrohr endigt. Letzteres ist nach der entgegengesetzten Seite hin etwas verlängert, theils, damit hier eine Reinigungsvorrichtung *b* zur Entfernung von abgelagertem Gichtstaube aus dem Rohre angebracht werden kann, hauptsächlich auch in Rücksicht auf die nothwendige Unterstützung der ganzen Vorrichtung. Diese

Fig. 124.



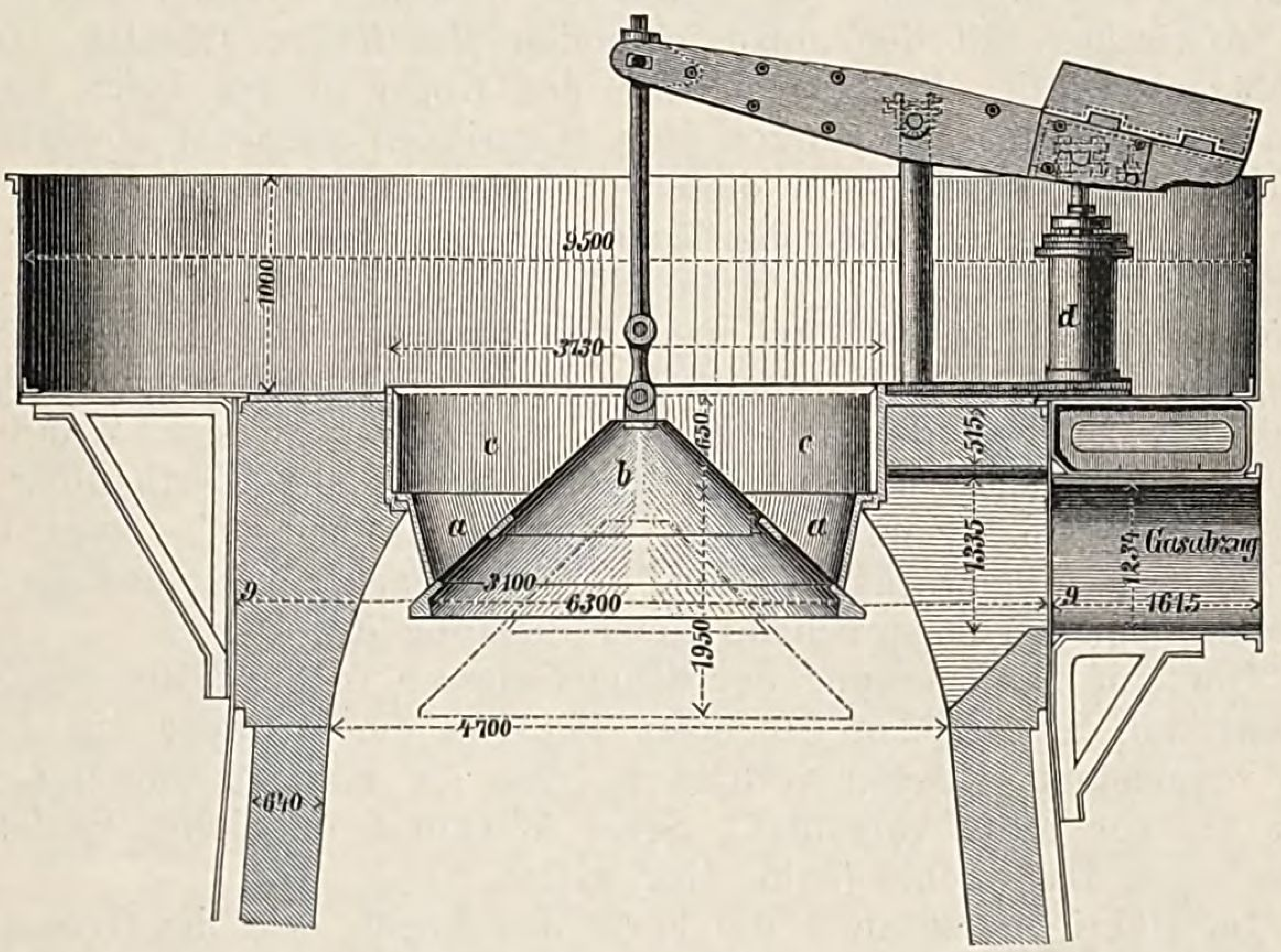
Unterstützung kann durch eiserne Ständer, die auf der Gicht aufgestellt werden, bewirkt werden, oder man benutzt, wo eine eiserne Gichteinfassung (in der Abbildung mit *c* bezeichnet) vorhanden ist, diese zu demselben Zwecke, indem man die Rohre von ihr tragen lässt.

Das Rohr *a* ist entweder cylindrisch oder es verengt sich, wie bei dem abgebildeten Gasfange, schwach nach unten, wodurch die Reibung der niederdrückenden Schmelzsäule verringert wird. Je grösser der Durchmesser des Rohrs ist, desto leichter können die Gase in das

Rohr eintreten, aber desto enger wird auch der rings um das Rohr herum bleibende Raum zum Aufgichten der Schmelzmaterialien, und desto stärker müssen die letzteren unterhalb des Rohrs nach der Mitte hin sich ausbreiten. Gewöhnlich findet man den Rohrdurchmesser annähernd gleich einem Drittel des Gichtdurchmessers oder wenig grösser. Eine weite Gicht ist bei Anwendung eines solchen Gasfangs nothwendig, damit für das Aufgichten rings um das Rohr herum der nöthige Raum bleibe.

Das in die Mitte der Beschickung einhängende Rohr bewirkt hier eine für den Schmelzgang nützliche Auflockerung. Mitunter hat man jedoch ausser dem Centralrohre demselben Hochofen auch einen Pfortschen Gasfang gegeben, um einer übermässigen Anhäufung der Gase

Fig. 125.



in der Mitte entgegenzuwirken und um die Gasentziehung vollständiger zu machen. Die entzogenen Gase können dann in einer gemeinschaftlichen Leitung vereinigt werden. Bei dem in Fig. 104 auf Seite 408 abgebildeten Hochofen sind beide Gasfänge erkennbar; auch gewahrt man den Gichtdeckel, dessen innerer Rand zum Zwecke des dichteren Abschlusses in eine am mittleren Rohre befindliche, mit Wasser gefüllte Rinne eintaucht.

Parrys Gasfang. Diese auch unter der Bezeichnung Parryscher Trichter bekannte Vorrichtung ist in Fig. 125 abgebildet. Auch der Hochofen Fig. 108 besitzt einen gleichen Gasfang. Er ist der älteste jener Gasfänge, welche Gichtverschluss mit selbstthätiger Einschüttvorrichtung besitzen, und wurde von Parry im Jahre 1850 zuerst auf den Ebbw-Vale-Eisenwerken angewendet. Seitdem hat er besonders in Grossbritannien eine häufige Anwendung gefunden; seltener sieht man ihn in dieser ursprünglichen Form auf deutschen Eisenwerken.

Er besteht aus zwei Hauptheilen, dem gusseisernen festliegenden Trichter *a* und dem aus Blech oder Gusseisen gefertigten Kegel *b*, welcher an einer mit Gelenk versehenen Zugstange aufgehängt ist und mit deren Hülfe gehoben und gesenkt werden kann. Den Trichter pflegt man in zwei Stücken zu giessen, deren unteres *a* mit einem Rande in einem Ringe des oberen Stückes *c* aufruht, so dass es ohne Schwierigkeit herausgenommen werden kann, während das Stück *c* fest eingemauert ist. Der grösste Durchmesser des Kegels *b* ist etwas kleiner als der engste Durchmesser des Stückes *c*, so dass auch jener aus dem Ofen entfernt werden kann, sobald *a* herausgenommen ist. Diese Einrichtung ist in Rücksicht auf eine etwa erforderlich werdende Auswechselung des Kegels *b* zweckmässig.

In der gezeichneten Stellung des Kegels *b* ist die Gicht geschlossen, und die Gase sind gezwungen, in den seitlich angebrachten Gasabzug zu entweichen. Der Raum *a c* zwischen Trichter und Kegel wird inzwischen mit den aufzugichtenden Materialien (Kohlen, Erzen, Zuschlägen) gefüllt. Senkt man nun den Kegel in die durch Punkte gezeichnete Stellung, so stürzen jene Materialien zunächst abwärts auf den Kegel und werden von diesem ringsherum gegen die Wand des Ofens vertheilt. Steht die Oberfläche der Beschickung tief unter der Unterkante des Kegels, so werden die gegen die Wand anprallenden Stücke von dieser zurück und nach der Mitte des Ofens hin geworfen; ist dagegen der Kegel bis unmittelbar über die Beschickungsoberfläche gesenkt, so bleiben die abgleitenden Materialien an der Wand des Ofens liegen. Man hat hierdurch ein Mittel, die Vertheilung der Körper zu regeln. Zuerst gichtet man die Kohlen auf, damit diese nach der Mitte hingeworfen werden, und erst nach den Kohlen die Erze und Zuschläge bei entsprechend tiefer Senkung des Kegels.

Um eine Auflockerung der Schmelzmassen in der Mitte des Ofens zu bewirken, ist bei dem Hochofen Fig. 108 ein Cylinder aus Eisenblech eingehängt, welcher verhindert, dass die eingeschütteten Körper sofort bis zur Mitte vorrollen. Seine Wirkung in dieser Beziehung ist der eines Darbyrohrs (Seite 432) gleich.

Im Uebrigen ist auch die Form des Kegels wie die Grösse der einzelnen Brennstoffgichten (der in einem Male aufgegebenen Brennstoffmengen) für die Vertheilung von Einfluss. Gewöhnlich giebt man dem Kegel eine solche Form, dass seine Seiten einen Winkel von annähernd 90 Graden einschliessen. Je steiler der Kegel ist, auf eine desto geringere Entfernung werden unter übrigens gleichen Verhältnissen die gegen die Ofenwand anprallenden Körper von dieser zurückgeworfen; je grösser aber die Menge der in einem Male aufgegichteten Materialien ist, desto weniger leicht kann eine übermässige Anhäufung am Rande eintreten, da die zuletzt hinabstürzenden Körper immerhin auf der concaven Oberfläche der zuerst hineingefallenen und am Rande liegen gebliebenen Körper nach der Mitte zu rollen werden.

Die Bewegung der Glocke (des Kegels) pflegt durch Anbringung eines Gegengewichts und einer hydraulischen Bremse erleichtert zu werden. Bei dem Gasfange Fig. 125 befindet sich das Gegengewicht auf dem Ende des Hebels, und die Belastung ist so bemessen, dass die Glocke, so lange sie nicht durch aufgeschüttete Materialien belastet

ist, ihren höchsten Stand einnimmt, aber sinkt, wenn Belastung stattfindet und sie sich selbst überlassen wird. *d* ist der Bremscylinder, mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit (Glycerin) gefüllt. Der Raum über dem Kolben steht mit dem Raume unter dem Kolben durch ein seitlich angebrachtes, in der Abbildung nicht sichtbares Rohr in Verbindung; in diesem Rohre ist ein Hahn eingeschaltet, durch dessen Drehung man die Verbindung sowohl herstellen als unterbrechen kann. In der gezeichneten Stellung der Glocke befindet sich der Kolben des Cylinders unten, darüber steht die Flüssigkeit; ist der Hahn geschlossen, so hält sie den Kolben und somit die Glocke in ihrer Stellung fest. Soll nun der Gichtverschluss geöffnet werden, nachdem zuvor die einzuschüttenden Materialien in den Raum *a* gebracht wurden, so dreht man den Hahn; das Gewicht der aufzugichtenden Körper drückt die Glocke nieder, der Kolben im Cylinder *d* steigt, und das Wasser über dem Kolben tritt unter den Kolben. Ist das Einschütten beendet, so geht die nunmehr entlastete Glocke wieder aufwärts und das Wasser tritt wieder unter den Kolben, sofern man nicht etwa den Hahn inzwischen geschlossen hat.[1])

Aehnlich ist die Einrichtung bei dem Gasfange des Hochofens Fig. 108.

Bisweilen versieht man den Parryschen Gasfang noch mit einem glockenförmigen, durch eine besondere Vorrichtung beweglichen Deckel, um die beim Oeffnen des Gichtverschlusses sonst unvermeidlichen Gasverluste und Schwankungen der Gasspannung in der Leitung zu vermeiden. Wenn die Beschickung bei geschlossener Gicht in den Raum *a c* (Fig. 125) gebracht ist, wird der Deckel aufgesetzt und die Gicht kann nun geöffnet werden; wenn das Einstürzen beendet ist, wird sie, wie gewöhnlich, geschlossen, und der Deckel wird wiederum emporgehoben.[2]) Man versieht zweckmässigerweise den Deckel mit einigen, bei eintretenden Verpuffungen selbstthätig aufschlagenden Klappen als Sicherheitsvorrichtung, falls durch Vermischung der unter dem Deckel befindlichen Luft mit den Gichtgasen Knallgas entstanden sein sollte.

Der Parrysche Trichter besitzt den Vortheil der Einfachheit und ist leicht zu handhaben; mit dem Pfortschen Gasfange theilt er den Nachtheil, dass die Gase an der Ofenwand ihren Abzug nehmen, wo sie ohnehin reichlicher aufzusteigen pflegen, als für den regelmässigen Schmelzgang erwünscht ist. Je leichter reducirbar die Erze sind, desto geringere Bedeutung besitzt, wie schon bei der Beschreibung des Pfortschen Gasfangs erwähnt wurde, dieser Uebelstand; in Bezirken, wo leicht reducirbare Erze verhüttet werden (Cleveland, Steiermark), bedient man sich daher mit Vorliebe des Parryschen Gasfangs; in anderen Gegenden hat er sich weniger bewährt.

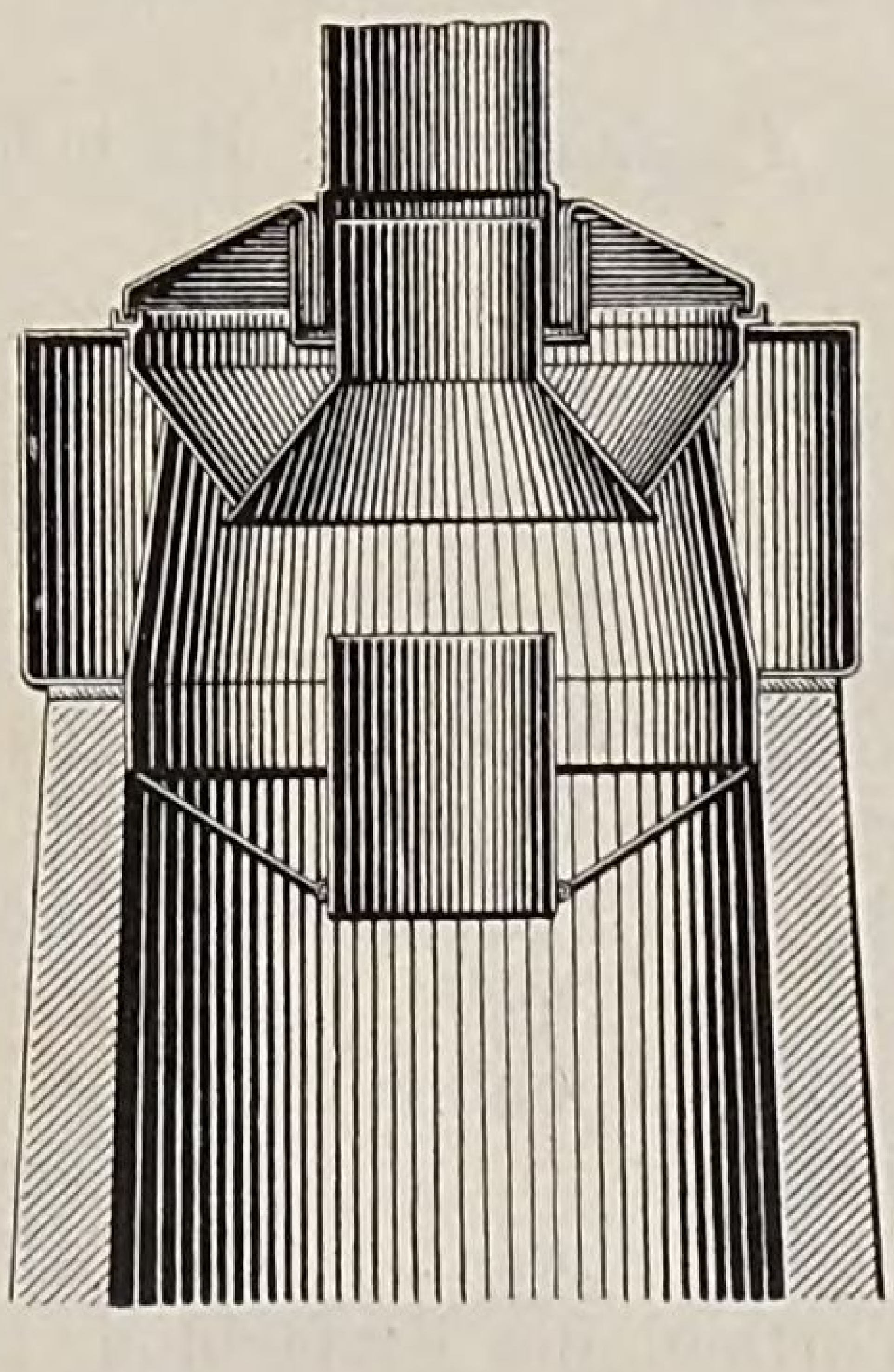
1) Die Einrichtung ist von Wrightson zuerst eingeführt. Vergleiche „Journal of the Iron and Steel Institute" 1872, II, p. 236.

2) Besondere Vorrichtungen, um die auf die Gicht beförderten Erze und Kohlen sofort gleichmässig rings um den Verschlusskegel herum zu vertheilen, sind auf amerikanischen Hochofenwerken zur Anwendung gekommen. Beispiele neuerer Parryscher Gasfänge: „Stahl und Eisen" 1895, Seite 862 (Gasfang zu Kladno); 1897, Seite 292 (Neelands Gasfang zu Duquesne); 1898, Seite 855 (Gasfang zu Lorain in Ohio); 1898, Seite 890 (verschiedene Gasfänge mit Gichtdeckel).

Von-Hoffscher Gasfang. In seiner Wirkungsweise beim Aufgichten dem Parryschen Gasfange nachgebildet verfolgt der Von-Hoffsche Gasfang das Ziel, durch Ableitung der Gase in der Mitte des Ofens den erwähnten Fehler des ersteren Gasfangs zu vermeiden. Er wurde im Anfange der sechziger Jahre zuerst auf dem Eisenwerk Hörde in Anwendung gebracht und erlangte seitdem besonders auf deutschen Eisenwerken eine ziemlich grosse Verbreitung. In Fig. 126 und 127 ist ein neuerer Von-Hoffscher Gasfang abgebildet.

Die Einrichtung des Trichters ist im Wesentlichen die nämliche wie bei dem Parryschen Gasfange. Der als Verschluss dienende Kegel aber endigt nicht wie bei jenem in einer Spitze, sondern läuft in ein weites, nach oben gerichtetes Rohr aus; an dem oberen Rande dieses Rohrs ist eine ringsherum laufende, tiefe Wasserrinne angebracht, und in diese taucht das untere Ende des Gasableitungsrohrs *c* ein. Der Kegel kann auf diese Weise gesenkt werden, ohne dass seine Verbindung mit dem festliegenden Rohre unterbrochen wird. Ursprünglich liess man das Rohr *c* oberhalb der Beschickungssäule endigen, so dass die Gase erst eintreten konnten, wenn sie die Beschickung verlassen hatten; in der Jetztzeit findet man es meistens vortheilhafter, das Rohr, wie das des Darbyschen Gasfangs, um einige Meter in die Beschickung hineinragen zu lassen, um diese dadurch aufzulockern und die Gase stärker nach der Mitte des Ofens hinzuziehen. Auch bei dem abgebildeten Gasfange ist diese Einrichtung gewählt.

Fig. 128.



Zum Heben und Senken der Glocke (des Verschlusskegels) dienen zwei unter einander durch Streben verbundene Hebel *dd*, welche neben dem Rohre *c* vorbeigehen, und an denen die Glocke in Ketten aufgehangen ist. Die Bewegung der Hebel kann mit Hülfe einer Winde von Hand geschehen; bei grösseren Oefen pflegt man Dampf- oder Wasserdruck dafür zu benutzen. Bei dem abgebildeten Gasfange ist *a* ein für diesen Zweck bestimmter Dampfcylinder; der kleinere Cylinder *b* dient als Bremse beim Auf- und Niedergange und ist zu diesem Zwecke mit einem Gemische von Glycerin und Wasser gefüllt, welches durch zwei im Kolben angebrachte Löcher von je 25 mm Durchmesser hindurchzugehen gezwungen wird, sobald der Kolben sich bewegt. Niedergang erfolgt durch das eigene Gewicht, wenn man den Dampf über dem Kolben austreten lässt.

Um das Schachtmauerwerk vor Beschädigung durch die anprallenden Körper zu schützen, versieht man es zweckmässigerweise da, wo beim Senken des Kegels die einstürzenden Körper die Wand treffen, mit einem gusseisernen Schutzringe (in Fig. 126 erkennbar).

Wie bei dem Parryschen Gasfange schliesst man bei dem Von-Hoffschen mitunter die Gicht vor dem Senken des Kegels durch eine

Gasfang der Dortmunder Union.

1/80 der wirklichen Grösse.

Fig. 126.

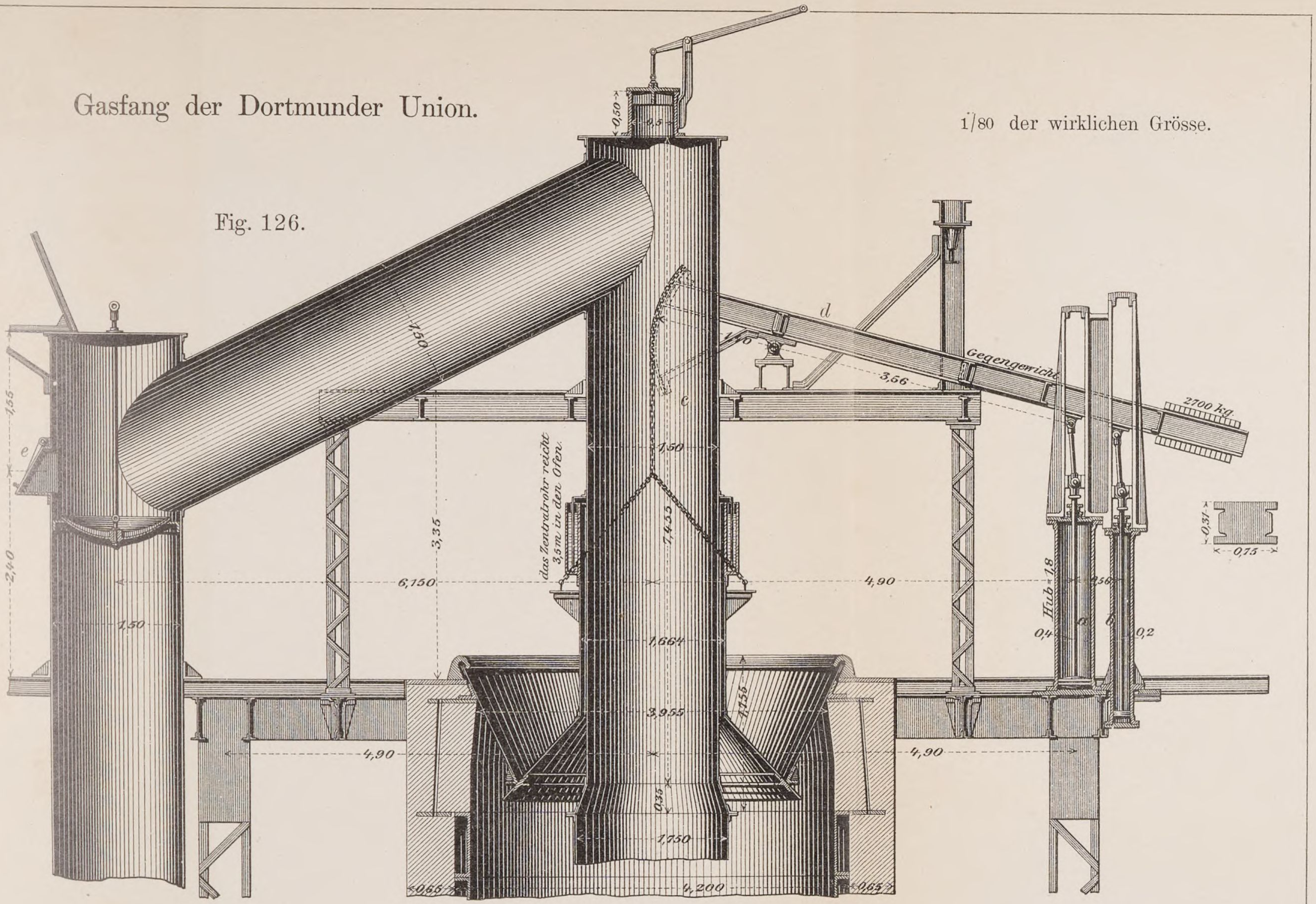
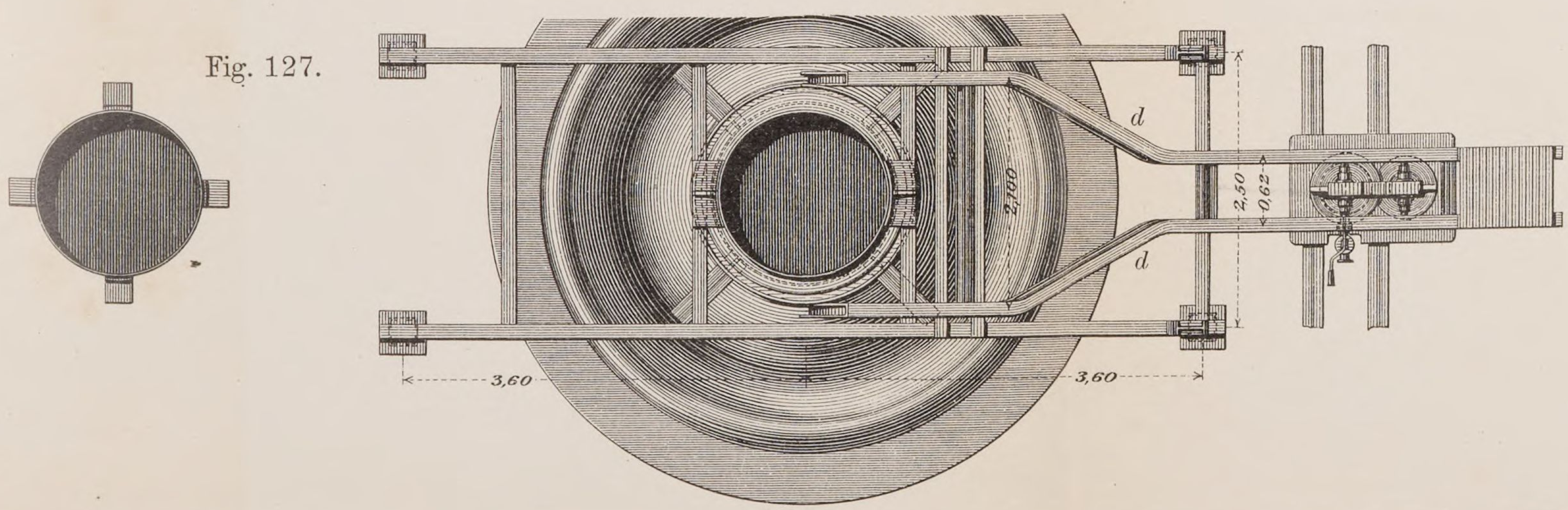


Fig. 127.



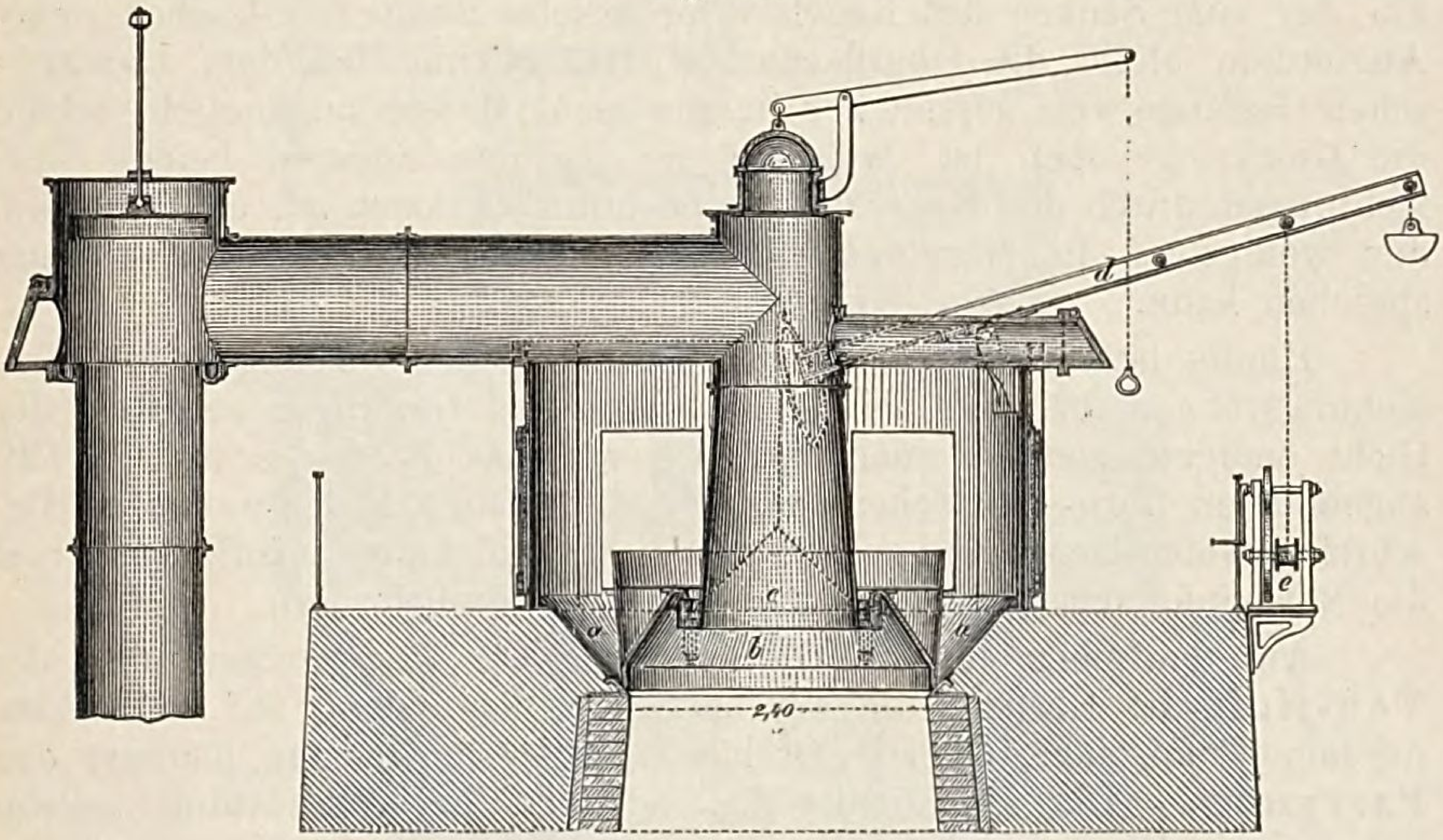
Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

besondere Glocke. Ihr innerer Rand taucht in die Wasserrinne am Gasableitungsrohre, ihr äusserer Rand in eine auf der Gichtbühne angebrachte Rinne. Die Skizze Fig. 128 zeigt einen solchen Von-Hoffschen Gasfang mit Deckel bei einem Luxemburger Hochofen. Statt das Gasentziehungsrohr bis in die Gicht hinein zu verlängern hat man hier, wie bei dem in Fig. 108 abgebildeten Ofen mit Parryschem Gasfang, einen besonderen Cylinder zur Auflockerung der Beschickung in die Gicht eingehängt.

Langens Gasfang, von dem früheren Hüttendirector Langen in Friedrich Wilhelmshütte bei Troisdorf in den sechziger Jahren erfunden und seitdem bis heute vielfach benutzt. Fig. 129 zeigt die Einrichtung dieses Gasfangs. In die Hochofengicht ist der aus Eisen gefertigte Trichter *a* eingelassen, und in diesem ruht etwas oberhalb des

Fig. 129.



unteren Randes der glockenartige Gichtverschluss *b*. Letzterer besteht aus zwei Theilen: der inneren Glocke, deren oberer Rand, wie die Abbildung zeigt, in eine Wasserrinne des Gasableitungsrohrs *c* eintaucht, so lange die Gicht geschlossen ist, und einem äusserlich an der Glocke befestigten Ringe, welcher nach oben sich ein wenig erweitert und noch etwas über die Glocke hinausragt. Zwischen diesem Ringe und dem festliegenden Trichter *a* werden die zu gichtenden Materialien eingeschüttet; dann wird der Gichtverschluss (Glocke nebst Ring) gehoben, und die aufgeschütteten Körper stürzen in die Gicht hinein. Der Zweck des Rings hierbei ist leicht ersichtlich; ohne diesen würden die in den Trichter gebrachten Körper theilweise die Glocke bedecken und deren Anheben wesentlich erschweren.

Die Bewegung des abgebildeten, für einen kleineren Hochofen bestimmten Langenschen Gichtverschlusses wird mit Hülfe zweier unter einander verbundener Hebel *d* und einer Winde *e* bewirkt; bei

grösseren Abmessungen pflegt man sich, wie für die Bewegung des Von-Hoffschen Gasfangs (Fig. 126), eines Dampfcylinders mit Bremsvorrichtung zu bedienen.

Die Wirkung dieser Aufgichtvorrichtung ist etwas anders als beim Parryschen und Von-Hoffschen Gasfange. Bei den letzteren werden die Körper beim Hineinstürzen zunächst gegen die Ofenwand und von der Ofenwand erst theilweise zurück nach der Mitte des Ofens hin geworfen; bei dem Langenschen Gasfange stürzen sie ohne Weiteres nach der Mitte des Ofens hin und rollen erst, wenn hier sich eine kegelförmige Anhäufung gebildet hat, von dieser seitwärts den Wänden zu. Man schüttet auch hier die Kohlen zuerst ein, damit sie jene Anhäufung in der Mitte bilden, und füllt dann die Erze nach.

Als ein Vorzug des Langenschen Gasfangs kann es angesehen werden, dass der Ofen bis fast unter die Glocke gefüllt werden kann, während bei dem Parryschen und Von-Hoffschen Gasfange immerhin der zum Senken des Kegels erforderliche Raum frei bleiben muss. Ausserdem bleibt die Oberfläche der Beschickung bei dem Langenschen Gasfange von aussen her in gewissem Maasse zugänglich, sobald die Glocke gehoben ist, während sie bei den anderen beiden Vorrichtungen durch den Kegel der Beobachtung entzogen ist, ein Umstand, der wenigstens in einzelnen Fällen für den Langenschen Gasfang sprechen kann.

Häufig lässt man bei neueren Langenschen Gasfängen das Entziehungsrohr nicht, wie bei dem abgebildeten Gasfange, oberhalb der Gicht endigen, sondern man lässt es, wie das Rohr des in Fig. 126 abgebildeten Von-Hoffschen Gasfangs, um einige Meter unter die Beschickungsoberfläche eintauchen, um die Beschickung aufzulockern und die Bewegung der Gase nach der Mitte hin zu befördern.

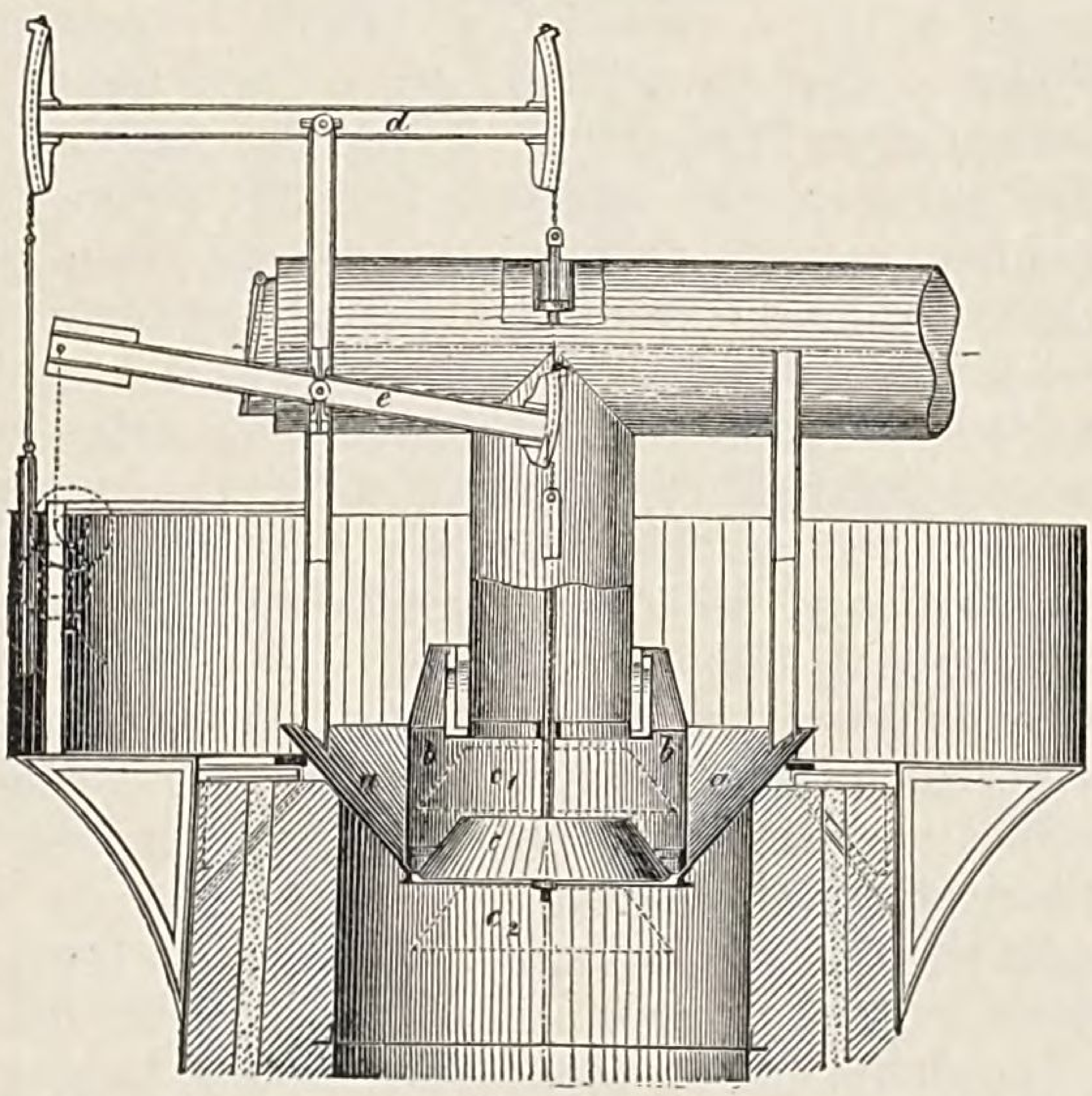
Auf deutschen Hochofenwerken sind der Langensche und der Von-Hoffsche Gasfang die am häufigsten benutzten; auf englischen, nordamerikanischen, österreichischen Werken findet man häufiger den Parryschen. Die Nachtheile des letzteren bei Verhüttung schwer reducirbarer Erze sind bereits erwähnt worden. Ob der Von-Hoffsche oder der Langensche den Vorzug verdiene, hängt zum Theil von der Beschaffenheit der Beschickung ab. Die Lagerung der einstürzenden Materialien gestaltet sich bei der einen dieser Vorrichtungen etwas anders als bei der zweiten; erst die Erfahrung muss häufig entscheiden, in welchem Falle der günstigere Schmelzgang erzielt wird. Auch die Menge der mit einem Male aufgegichteten Materialien, der Winkel, unter welchem diese in den Ofen stürzen, und andere Nebenumstände sprechen hierbei mit. Bei Oefen, welche zinkische Erze verarbeiten und in welchen sich demzufolge zinkhaltige Ansätze unterhalb der Gicht, sogenannter Gichtschwamm,[1]) zu bilden pflegen, haben der Parrysche und Von-Hoffsche Trichter sich mitunter als ungeeignet aus dem Grunde erwiesen, weil durch die gegen die Ofenwand anprallenden Körper der Gichtschwamm losgestossen wurde, hierbei in die Ofenbeschickung gelangte und den Ofengang verschlechterte.

1) Seite 337; vergleiche auch unten: Nebenerzeugnisse des Hochofenbetriebes.

Buderus' Gasfang. Ziemlich häufig ist man bei dem Entwurfe eines neuen Gasfangs bemüht gewesen, durch besondere Einrichtungen eine grössere Gewähr für die regelrechte Vertheilung der einstürzenden Schmelzmaterialien zu erlangen. Eine sehr ausgebreitete Benutzung hat allerdings kein einziger dieser Gasfänge gefunden; bei manchen ist die Anwendung auf ein einziges Werk beschränkt geblieben. Sie sind weniger einfach als die bisher besprochenen, und nicht immer mögen sie die zuvor gehegten Erwartungen voll erfüllt haben.

Als ein Beispiel solcher Gasfänge möge ein von G. Buderus 1874 eingeführter und jetzt noch auf mehreren Werken (Lollar, Giessen u. a.) in Benutzung befindlicher Gasfang Erwähnung finden, welcher in Fig. 130 abgebildet ist. Er kann als eine Vereinigung des Parryschen

Fig. 130.



und Langenschen Gasfangs betrachtet werden. *b b* ist die der Langenschen Vorrichtung entnommene Gichtglocke, *c* der Kegel des Parryschen Gasfangs, jedoch von diesem dadurch unterschieden, dass er oben offen ist und somit nur zur Vertheilung der Schmelzmaterialien, nicht als Gichtverschluss dient. Sein Durchmesser ist etwas kleiner als der des Trichters *a*, so dass er durch dessen untere Oeffnung hindurch geht. Er hängt an einer eisernen Stange, welche in der Mitte des senkrechten Gasableitungsrohrs befindlich ist, oben herausragt und an einem Hebel *d* befestigt ist, mit dessen Hülfe die Bewegung erfolgt; ein Paar Hebel *e* dienen ausserdem, wie bei dem Langenschen Gasfange, zum Heben und Senken der Glocke *b*.

Soll die Beschickung, welche in den Trichter geschüttet ist, in die Mitte des Ofens fallen, so wird zunächst der Kegel *c* aufwärts in die durch Punkte bezeichnete Stellung c_1 bewegt und dann die Gichtglocke gehoben; die Vorrichtung wirkt dann genau wie ein Langen-

scher Gasfang. Soll die Beschickung an den Umfang geworfen werden, so senkt man den Kegel in die Stellung c_2; die Beschickung stürzt auf den Kegel und von diesem gegen die Ofenwand.[1])

Die Leitungsrohre und Reinigungsvorrichtungen.

Für die Herstellung der Leitungsrohre pflegt man Eisenblech zu benutzen, und man giebt ihnen bei kleineren Holzkohlenhochöfen Durchmesser von 0,3—0,5 m, bei grösseren, mit Koks betriebenen Hochöfen 1,5—2,5 m und mitunter darüber.

Die Geschwindigkeit der Gase in einer Leitung von gegebenem Durchmesser lässt sich aus dem Brennstoffverbrauche des Ofens und der Temperatur der Gase annähernd berechnen, indem man annimmt, dass für je 1 kg verbrannten Brennstoffs im Hochofen 4,5 cbm Gichtgase von Null Grad Temperatur erfolgen, welche nach der Formel $v_1 = v\ (1 + 0{,}00366\ t)$ ihren räumlichen Inhalt vergrössern.[2]) In der Formel bezeichnet v_1 den Rauminhalt der heissen Gase, v den Rauminhalt bei gewöhnlicher Temperatur, t die Temperatur, welche beim Beginne der Leitung bisweilen mehrere Hundert Grade beträgt.

Eine erheblich grössere Geschwindigkeit der Gase als 3 m in der Secunde ist nicht erwünscht; mitunter freilich bewegen sich die Gase mit einer Geschwindigkeit von 6 m und darüber.[3])

Bei dem Betriebe mehrerer Hochöfen lassen sich die sämmtlichen Gase in einem gemeinschaftlichen Sammelrohre vereinigen.

Bei den Oefen mit geschlossener Gicht ist die Anbringung einer Vorrichtung zweckmässig, welche die Entlassung eines etwaigen Gasüberschusses ermöglicht, falls aus irgend einem Grunde eine augenblickliche Verwendung dafür fehlt. Sie besteht gewöhnlich aus einer Haube auf der höchsten Stelle des Entziehungsrohrs, welche durch Hebel und Kette geöffnet werden kann. Die Abbildungen Fig. 126 und 129 lassen diese Einrichtung erkennen.

Nothwendig bei allen Gasfängen, welche die Gase oberhalb der Beschickungssäule entziehen, und zweckmässig auch bei den übrigen ist ferner die Anordnung einer Absperrvorrichtung in der Leitung nahe der Gicht, damit man die Leitung schliessen und das Eintreten äusserer Luft verhindern kann, während die Gicht geöffnet ist. Ein Ventil erfüllt diesen Zweck. In Fig. 126 und in Fig. 129 sieht man dieses Absperrventil am oberen Ende des links befindlichen abwärts führenden Rohrs. Mitunter verbindet man durch eine über Rollen geführte Kette

1) Ueber sonstige, weniger häufig angewendete Formen von Gasfängen finden sich Mittheilungen in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1884, S. 969.

2) Steffen giebt an, dass bei gaarem Gange des Hochofens und 40 bis 45 v. H. Ausbringen das Gesammtgewicht der erfolgenden Gase das $5\frac{1}{2}$fache vom Gewichte der Koks betrage, was bei dem Rauminhalte eines Kilogramms = 0,75 cbm eine Gesammtmenge von 4,3 cbm ergeben würde („Stahl und Eisen“ 1883, Seite 70; 1887, Seite 307); Osann berechnet theoretisch die Gichtgasmenge für 127 kg verbrauchter Koks zu 553 cbm, also für je 1 kg Koks ebenfalls zu 4,3 cbm („Stahl und Eisen“ 1888, Seite 592). Gredt fand durch Messung 5,4 cbm Gas für je 1 kg verbrannter Koks („Stahl und Eisen“ 1890, Seite 591). Der geringe Ueberdruck, unter welchem die Gase in der Leitung stehen, kann bei der Berechnung für den hier in Rede stehenden Zweck vernachlässigt werden.

3) Beispiel: „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 70.

die Ventilstange mit den Hebeln, welche zur Bewegung der Gichtglocke dienen, derartig, dass das Ventil selbstthätig geschlossen wird, wenn man den Gichtverschluss öffnet, und umgekehrt. Damit die Gase nun, so lange die Leitung abgesperrt ist, nicht sämmtlich aus der geöffneten Gicht entweichen und den Arbeitern den Aufenthalt hier erschweren, öffnet man währenddem die Haube auf dem Scheitel des Entziehungsrohrs und lässt die Gase hier austreten.

Ebensolche oder ähnliche Absperrvorrichtungen werden in die Leitung an den Stellen eingeschaltet, wo Abzweigungen sich befinden. Mitunter benutzt man auch Drosselklappen hierfür; seltener Schieber, deren Bewegung leicht durch abgelagerten Staub erschwert wird.

Die Gichtgase sämmtlicher Hochöfen führen Wasserdämpfe und Gichtstaub mit, dessen Zusammensetzung und sonstige Beschaffenheit bei Besprechung der Nebenerzeugnisse des Hochofens ausführlichere Erwähnung findet.

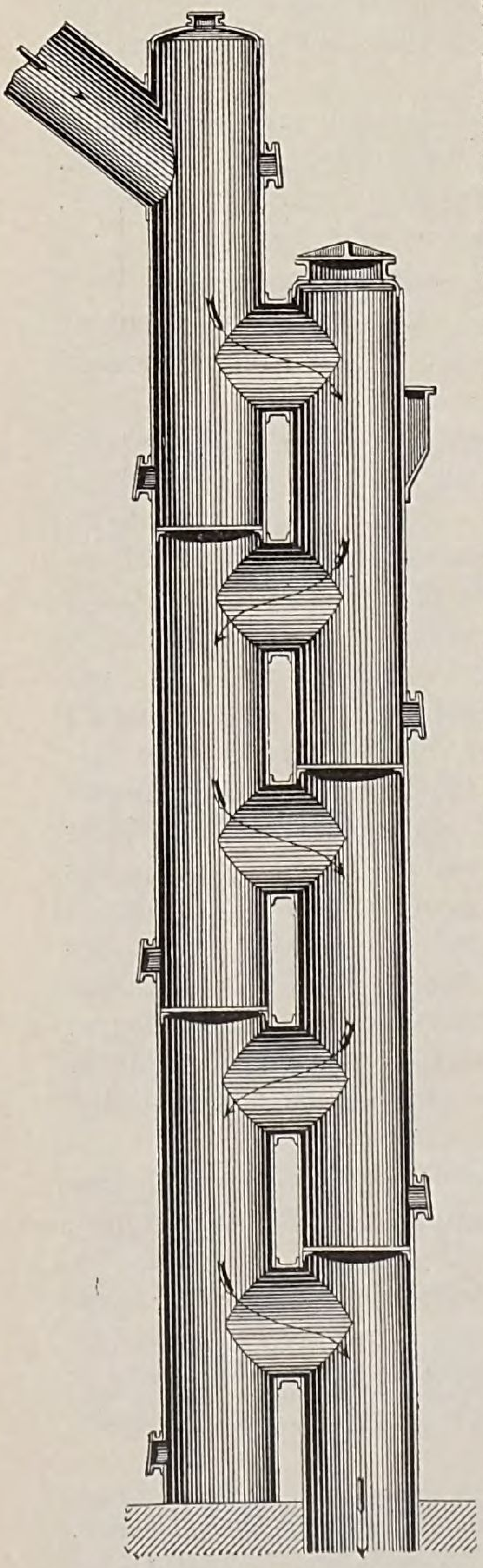
Die Menge des Wasserdampfs richtet sich nach dem Wassergehalte der Beschickung und pflegt bei Hochöfen, welche wasserarme Erze verhütten, 5 bis 10 v. H. des Gewichts der entweichenden flüchtigen Körper zu betragen, kann aber bei Verhüttung wasserreicher Brauneisenerze auf 20 v. H. und darüber steigen. Die Menge des Gichtstaubs ist von der Zusammensetzung der Beschickung und der im Hochofen herrschenden Temperatur abhängig. Zinkische Erze und solche Erze und Zuschläge, welche beim Niedergange im Hochofen verhältnissmässig rasch zerfallen, liefern reichliche Mengen von Staub. Kalkreiche Beschickungen, deren Kalkgehalt beim Brennen in Pulver zerfällt, pflegen daher staubreiche Gase zu liefern; besonders unvortheilhaft in dieser Beziehung zeichnet sich manche Minette Luxemburgs und Lothringens aus, bei deren Verhüttung sehr erhebliche Mengen von Staub durch den Gasstrom davon geführt werden. Eine hohe Temperatur im Hochofen befördert die Entstehung verschiedener flüchtiger Körper, welche mit den Gasen davon gehen und später ebenfalls als Staub abgelagert werden können. Während der Staubgehalt staubarmer Gase mitunter nicht über 1 g in 1 cbm beträgt, kann er bei staubreichen auf 30 bis 40 g steigen.[1])

Beide Körper, der Wasserdampf wie der Gichtstaub, erniedrigen durch ihre Anwesenheit die Verbrennungstemperatur der Gichtgase, schmälern dadurch die Wärmeausnutzung und können, wo sie in grösseren Mengen auftreten, sogar die Entzündbarkeit der Gase aufheben. Nicht minder lästig kann bei Benutzung staubreicher Gase zu Heizzwecken der Umstand werden, dass der Staub in den Feuerzügen (der Dampfkesselfeuerungen, Winderhitzer) sich ablagert, deren Quer-

1) Stöckmann fand bei den Hochöfen des Eisenwerks Phönix etwa 2 g Staub in 1 cbm Gas (Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, Ruhrort 1876, Seite 35); Gredt fand 3 bis 4 g („Stahl und Eisen“ 1890, Seite 591). Dagegen theilt Lürmann ein Beispiel mit, bei welchem selbst das gereinigte Gas noch $10{,}_{27}$ g Staub in 1 cbm enthielt, und er giebt an, dass aus grösseren Oefen täglich 20000 bis 30000 kg Staub entweichen („Stahl und Eisen“ 1898, Seite 250 und 252). Nimmt man die Menge des aus einem solchen grösseren Ofen täglich entweichenden Gases zu 800000 cbm an, was der Wirklichkeit annähernd entsprechen wird, so ergiebt sich ein Staubgehalt in 1 cbm = 25 bis 35 g.

schnitt verengt, die Wärmeübertragung erschwert und zur rascheren Zerstörung der feuerfesten Baustoffe beiträgt.

Fig. 131.



Est ist mithin von Wichtigkeit, die Gichtgase, ehe sie an den Ort ihrer Verwendung gelangen, so viel als thunlich von Staub und, wenn erforderlich, auch von Wasserdampf zu befreien. Da eine Ablagerung dieser Körper in der Nähe der Gicht, wo die Reinigung der Röhren schwierig sein würde, nicht wünschenswerth ist, giebt man bei neueren Anlagen den vom Gasfange abzweigenden Röhren eine stark geneigte Lage (Fig. 126), während man früher diese Röhren gewöhnlich wagerecht legte und dann gezwungen war, sie häufig zu reinigen (Fig. 124, 129).

Wasserdampf lässt sich durch Verdichtung den Gasen entziehen, wenn diese entsprechend abgekühlt werden. Je länger die Leitung ist, und je mehr Oberfläche sie darbietet, desto vollständiger wird der Zweck erreicht. Deshalb verlängert man, wenn wasserreiche Erze verhüttet werden, mitunter absichtlich die Leitung, oder man lässt die Gase durch zwei Rohre statt durch eins abziehen, um eine grössere Oberfläche zu erhalten, und vereinigt sie erst später nach erfolgter Abkühlung in einem gemeinschaftlichen Rohre. Die Abbildung Fig. 131 (Maccosches Standrohr) kann als Beispiel dienen, wie sich der Weg der vom Gasfang kommenden Gase in verhältnissmässig einfacher Weise verlängern lässt, sei es zum Zwecke der Verdichtung von Wasser oder der Ablagerung von Staub. Ordnet man statt eines solchen Standrohrs deren zwei an, in welche die Gase vertheilt werden, so erhält man eine noch grössere Oberfläche.

Staub lagert sich um so vollständiger ab, je langsamer die Gase sich bewegen. Man schaltet daher in die Leitung an Stellen, wo die Entfernung des Staubes am leichtesten sich bewerkstelligen lässt, Staubfänge ein, d. h. cylindrische oder prismatische Behälter von grossem Querschnitt, durch welche die Gase mit sehr geringer Geschwindigkeit hindurchziehen, so dass hier die Hauptmenge des Staubes gesammelt werden kann.

Zur Entfernung des abgelagerten Staubes und des verdichteten Wassers dienen Klappen oder Wasserverschlüsse. Beiden pflegt man eine solche Einrichtung zu geben, dass sie bei eintretenden Gasexplosionen (welche durch unvorhergesehene Zufälligkeiten bisweilen

entstehen, wenn Luft in die Leitung gelangt) dem Gase Austritt gewähren, demnach als Sicherheitsvorrichtung dienen, und sich selbstthätig wieder schliessen, wenn die Explosion vorüber ist. Ausser den Staubfängen pflegt man auch die Enden jedes Rohrstrangs mit solchen Vorrichtungen zu versehen, um nach Bedarf die Reinigung vornehmen zu können, ohne den Betrieb lange unterbrechen zu müssen.

Bei dem Gasfange Fig. 124 (Seite 432) bezeichnet z. B. *b* eine solche Klappe zum Reinigen des wagerechten Rohrs; bei dem Gasfange Fig. 126 ist eine gleiche Klappe bei *e* angebracht, so dass man von hier aus das gegenüberliegende schräge Rohr reinigen kann, und auch bei dem Gasfange Fig. 129 (Seite 437) ist links eine ebensolche Klappe erkennbar. Alle diese Klappen haben ihre Drehungsachse oben und ruhen auf einem schräg stehenden Borde, ohne durch einen Vorreiber oder eine sonstige Vorrichtung festgehalten zu sein. Findet eine Explosion statt, so öffnen sie sich und sie fallen von selbst wieder zu, sobald die Explosion vorüber ist.

Fig. 132.

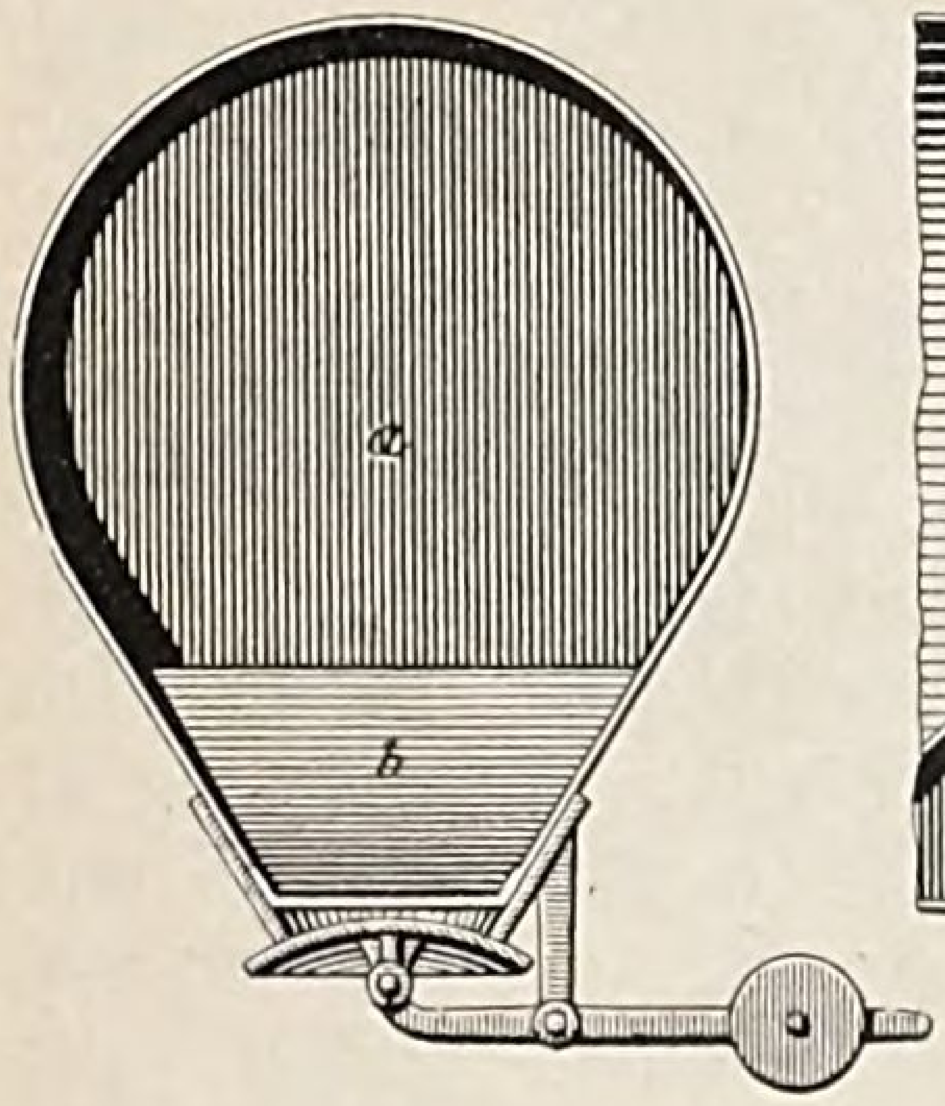
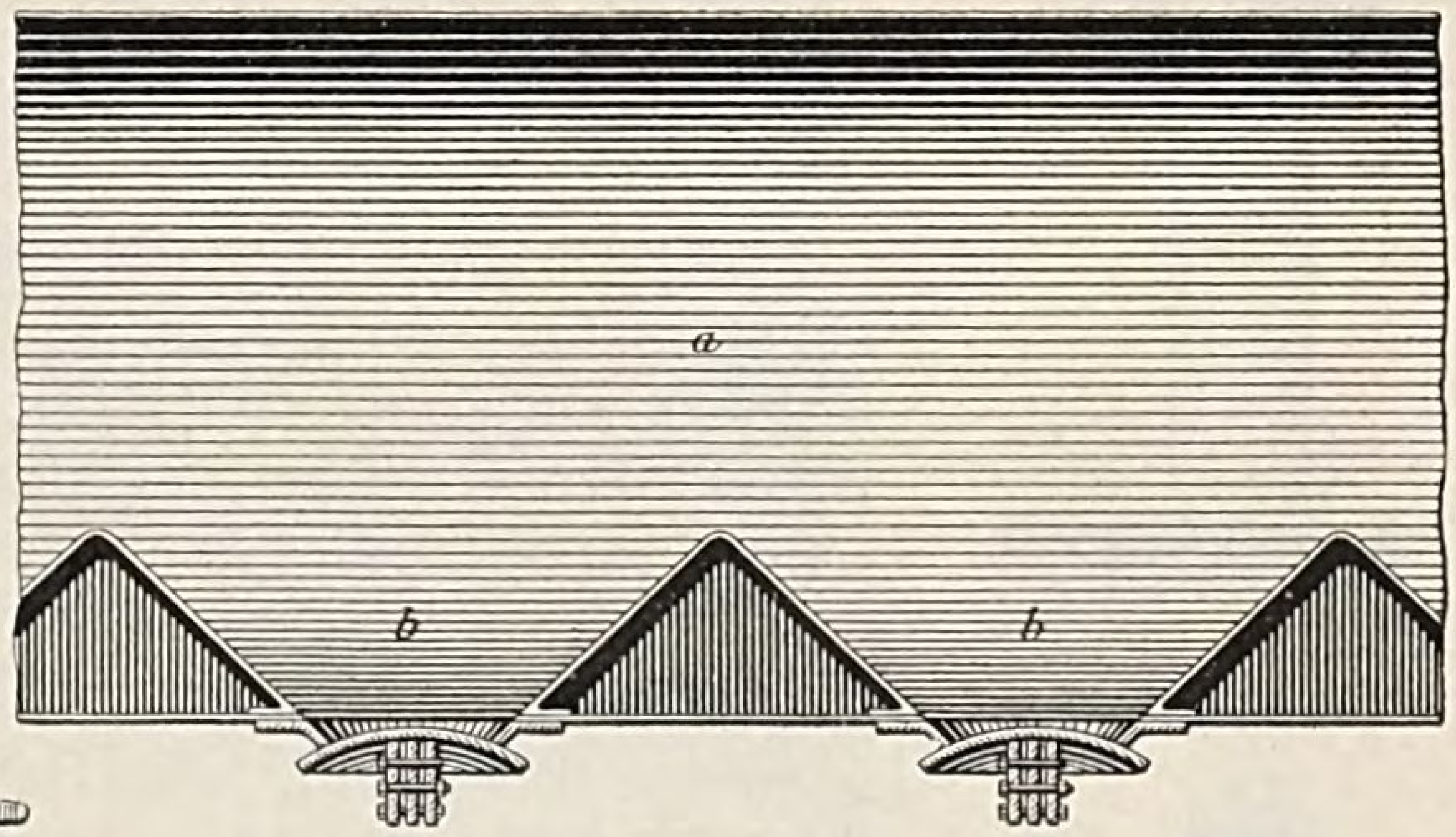


Fig. 133.

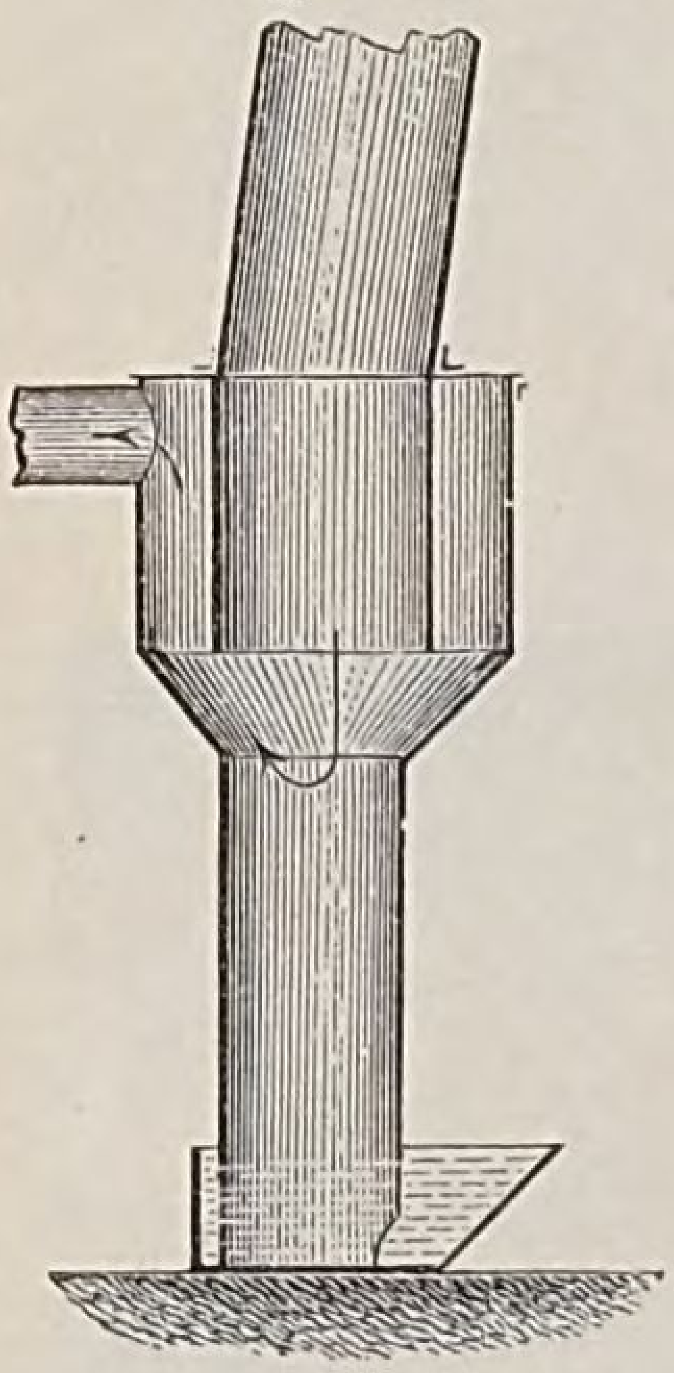


Eine gebräuchliche Form eines Staubfangs mit Klappenverschluss ist in Fig. 132 und 133 dargestellt. Das Rohr *a*, dessen Durchmesser 2 bis 3 m zu betragen pflegt, ist in solcher Höhe über dem Erdboden angebracht, dass eine Entleerung in darunter gebrachte Wagen oder Gefässe ohne Schwierigkeit möglich ist. An der unteren Seite des Rohrs sind in Abständen, welche ungefähr dem Rohrdurchmesser zu entsprechen oder noch etwas geringer zu sein pflegen, Staubsäcke *b b* angebracht, durch Klappen geschlossen, welche durch Hebel und Gegengewicht in ihrer Lage erhalten werden. Zwischen je zwei Staubsäcken ist ein querlaufender Rücken aus Eisenblech eingesetzt, welcher den Staub den Oeffnungen zuführt. Bisweilen lässt man auch die Rücken aus Eisenblech fehlen; zwischen den benachbarten Staubsäcken bildet sich alsdann aus dem abgelagerten Staube selbst ein Rücken, auf welchem der später niederfallende Staub abwärts gleitet.

Wasserverschlüsse lassen sich nur am unteren Ende der Rohrleitungen oder Staubfänge anbringen. Senkrechte oder steil abwärts führende Rohre lässt man häufig unten in einen Wassertopf eintauchen, dessen Form so gewählt ist, dass man den aus dem Rohre nieder-

fallenden Staub mit einer Krücke entfernen kann, ohne den Gasstrom unterbrechen zu müssen. Fig. 134 zeigt eine solche Einrichtung. Der freie Querschnitt des Wassertopfs ausserhalb des Rohrs wird zweckmässigerweise etwas reichlich bemessen, damit bei plötzlich eintretenden Schwankungen im Gasdrucke der Höhenunterschied des Wasserstandes innen und aussen nicht allzu beträchtlich ausfalle. Um zu verhüten, dass nach stattgehabter theilweiser Entleerung des Gefässes durch einen Stoss in der Leitung das Gas längere Zeit entweichen oder dass Luft angesaugt werden kann, ist es rathsam, stetig etwas frisches Wasser zufliessen zu lassen. Der Wasserverschluss bietet die Annehmlichkeit, dass auch das in der Leitung verdichtete Wasser unausgesetzt Abfluss findet.

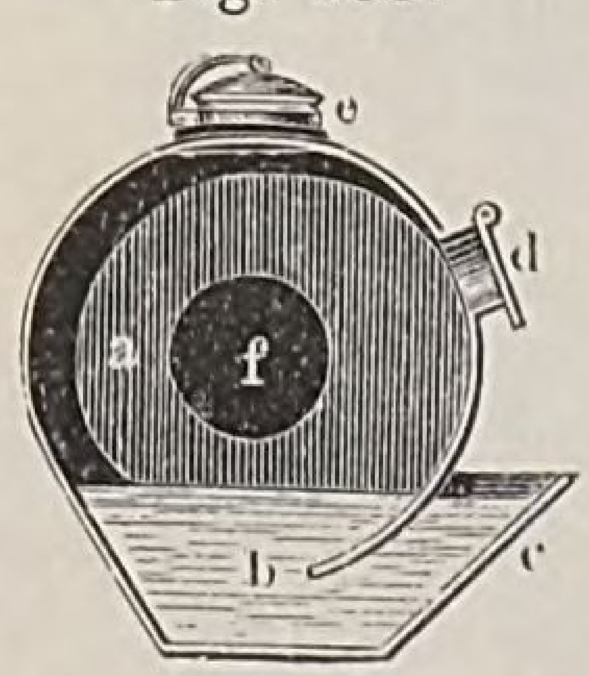
Fig. 134.



Bei der abgebildeten Vorrichtung ist zwischen dem abwärts führenden Rohre und dem wagerechten Fortleitungsrohre noch ein als Staubfang dienender weiterer Cylinder eingeschaltet. Sind jedoch für die Ablagerung des Staubes besondere Vorrichtungen vorhanden, so schliesst man gewöhnlich das Fortleitungsrohr unmittelbar an das senkrechte Rohr an und lässt dieses ohne Weiteres in den Wassertopf eintauchen (z. B. bei dem Hochofen Fig. 104 auf Seite 408).

Will man an Stelle des in Fig. 132 und 133 abgebildeten, als Staubfang dienenden wagerechten Rohrs mit Klappenverschluss ein solches mit Wasserverschluss anwenden, so kann man ihm einen Querschnitt, wie in Fig. 135 dargestellt ist, geben. Die früher ziemlich häufig angewendete Einrichtung ist jedoch jetzt seltener geworden; man tadelt die ausgedehnte Berührung der Gase mit der Wasseroberfläche, wodurch erstere Gelegenheit finden, sich reichlich mit Wasser zu sättigen.[1]) Häufiger findet man senkrecht stehende, als Staubfänge dienende weite Gefässe, durch welche das Gas hindurchstreicht und welche unten mit Wasserverschluss versehen sind. Als Beispiel hierfür kann der in Fig. 136 und 137 abgebildete Staubsammler eines luxemburger Eisenwerks dienen.[2]) Das Gas tritt durch das Rohr rechts ein und zieht durch das links befindliche Rohr weiter. *a a b* sind Sicherheitsklappen, welche zugleich den Zugang in das Innere ermöglichen. Statt das Gas einfach durch den Behälter hindurch ziehen zu lassen, kann man auch durch Einschaltung von Scheidewänden es zwingen, sich hin und her (auf und abwärts) zu bewegen und somit einen längeren Weg zurückzulegen; aber seine Bewegungsgeschwindigkeit wird dadurch beschleunigt.[3])

Fig. 135.



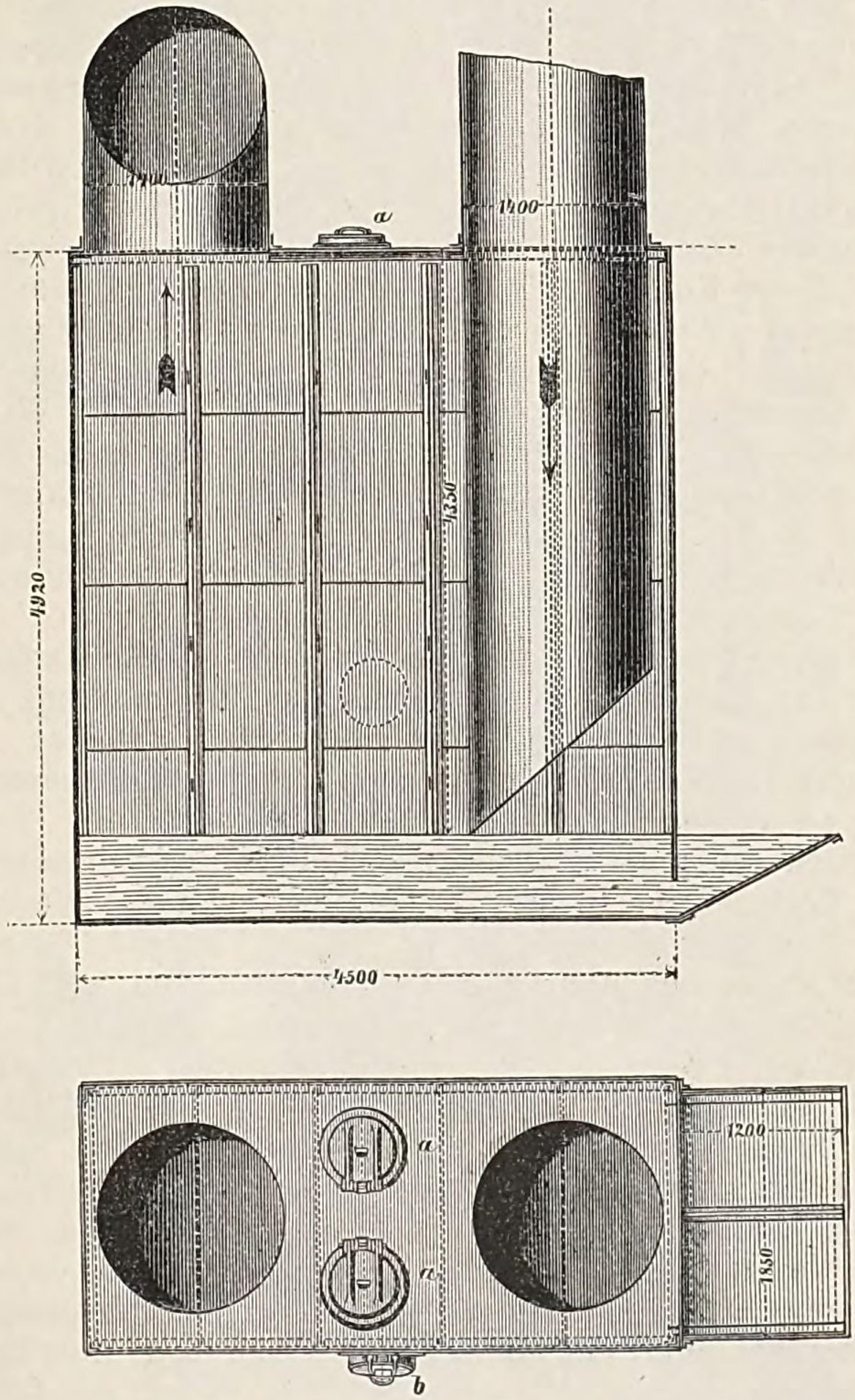
1) Ueber verbesserte Formen dieser Vorrichtung: „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 57 und 58.

2) Aus „Stahl und Eisen“ 1890, Taf. XI.

3) Abbildung eines Staubfangs der letzteren Art: „Stahl und Eisen“ 1897, Septemberheft Tafel V (Hochofenanlage des Eisenwerks Kraft bei Stettin).

Enthält der Gichtstaub viele sehr feine Theilchen (Zinkoxyd, Alkalien), welche sich nur schwierig absetzen, so schaltet man bisweilen zur besseren Entfernung des Staubes auch einen Nassreiniger in die Leitung ein, in welchem die Gase durch eingespritzte feinvertheilte Wasserstrahlen gewaschen werden. Man erzielt dadurch zugleich eine

Fig. 136 und 137.



stärkere Abkühlung und demnach vollständigere Verdichtung des mitgeführten Wasserdampfs. In der Regel genügen jedoch die nöthigen Trockenreiniger bei ausreichend grossen Abmessungen dem Zwecke.[1])

1) Beschreibung eines solchen Nassreinigers: „Stahl und Eisen" 1897, Seite 57. Beispiele verschiedener, hier nicht beschriebener Reinigungsvorrichtungen überhaupt sind in den unter Litteratur genannten Abhandlungen gegeben.

Die Verbrennungsvorrichtungen und die Esse.

Das Hochofen-Gichtgas ist schwieriger entzündlich und verbrennbar als die meisten sonstigen Brenngase, auch als Luftgas von guter Zusammensetzung, da sein Gehalt an verdünnend wirkenden, nicht brennbaren Bestandtheilen, insbesondere an Stickstoff und Kohlensäure, etwas höher ist. Deshalb verdienen alle jene auf Seite 48 entwickelten Regeln für Verbrennung von Gasen hier besondere Beachtung. Fehlerhaft würde es z. B. sein, die Vereinigung des Gases mit der Luft in einem Raume stattfinden zu lassen, in welchem das Gemisch der Berührung mit verhältnissmässig kalt bleibenden Gegenständen (Dampfkesseln, eisernen Windheizröhren) preisgegeben ist. Soll das Gas zur Erhitzung derartiger Theile benutzt werden, so ist es erforderlich, vor dem eigentlichen Heizraume eine aus feuerfesten Ziegeln gebaute Verbrennungskammer einzuschalten, deren Wände alsbald stark erhitzt werden; aus dieser Kammer strömen erst die bereits verbrannten Gase in den Heizraum. Wenn diese Kammer eine ausreichend grosse Oberfläche darbietet, so dient sie zugleich als Wärmespeicher zum Ausgleiche eintretender Schwankungen in der Menge der entwickelten Wärme, und wenn der Gasstrom auf einige Zeit unterbrochen gewesen sein sollte (z. B. beim Aufgichten), so entzündet sich das frisch zutretende Gas sofort wieder an den glühenden Wänden der Verbrennungskammer, und die Gefahr der Entstehung von Knallgas durch Vermischung unverbrannten Gases mit der Luft wird vermieden.

Vorwärmung der Verbrennungsluft ist, wie bei allen Gasfeuerungen, zweckmässig zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung mit thunlichst geringem Luftüberschuss. Man pflegt den Zweck zu erreichen, indem man die Luft in Kanälen um die Verbrennungskammer herumführt, bevor sie in diese eintritt.

Eine nach diesen Grundsätzen von Lürmann gebaute und auf zahlreichen Hochofenwerken zur Anwendung gebrachte Verbrennungskammer für Dampfkesselfeuerungen ist in Fig. 138 und 139 abgebildet. Das Gas tritt durch das Rohr *a* in den Raum *b* und von hier durch mehrere Schlitze in die Verbrennungskammer *c*. Die Luft strömt von aussen unter den Boden der Verbrennungskammer, vertheilt sich in eine Anzahl aufsteigender (in Fig. 138 in Punkten gezeichneter, in Fig. 139 im Schnitte sichtbarer) Kanäle, gelangt in den Raum *d* auf dem Scheitel der Kammer und wird von hier aus durch Schlitze, welche neben den Gasschlitzen, mit diesen abwechselnd, angebracht sind, in den Verbrennungsraum geführt. *r* ist eine Reinigungsöffnung.[1]) Hat die Kammer kalt gelegen, so wird in die Verbrennungskammer ein Rost eingelegt und auf diesem ein Feuer zur Entzündung des Gases unterhalten; eine ständige Rostfeuerung neben der Gasfeuerung findet man in solchen Verbrennungskammern, deren Einrichtung nicht mit Sicherheit eine sofortige Wiederentzündung des unterbrochen gewesenen und frisch zutretenden Gasstroms erwarten lässt.

1) Ueber Lürmanns Vorfeuer (Verbrennungskammer) vergleiche auch „Stahl und Eisen" 1895, Seite 124. Sonstige dem gleichen Zwecke dienende Einrichtungen: „Stahl und Eisen" 1897, Seite 706 (Graus Feuerung); 1898, Seite 660 (Hartmanns Feuerung).

Die Verbrennungsluft wird, wie bei fast allen Gasfeuerungen, durch eine Esse angesaugt, welche zugleich die Bewegung der Gase

Fig. 139.

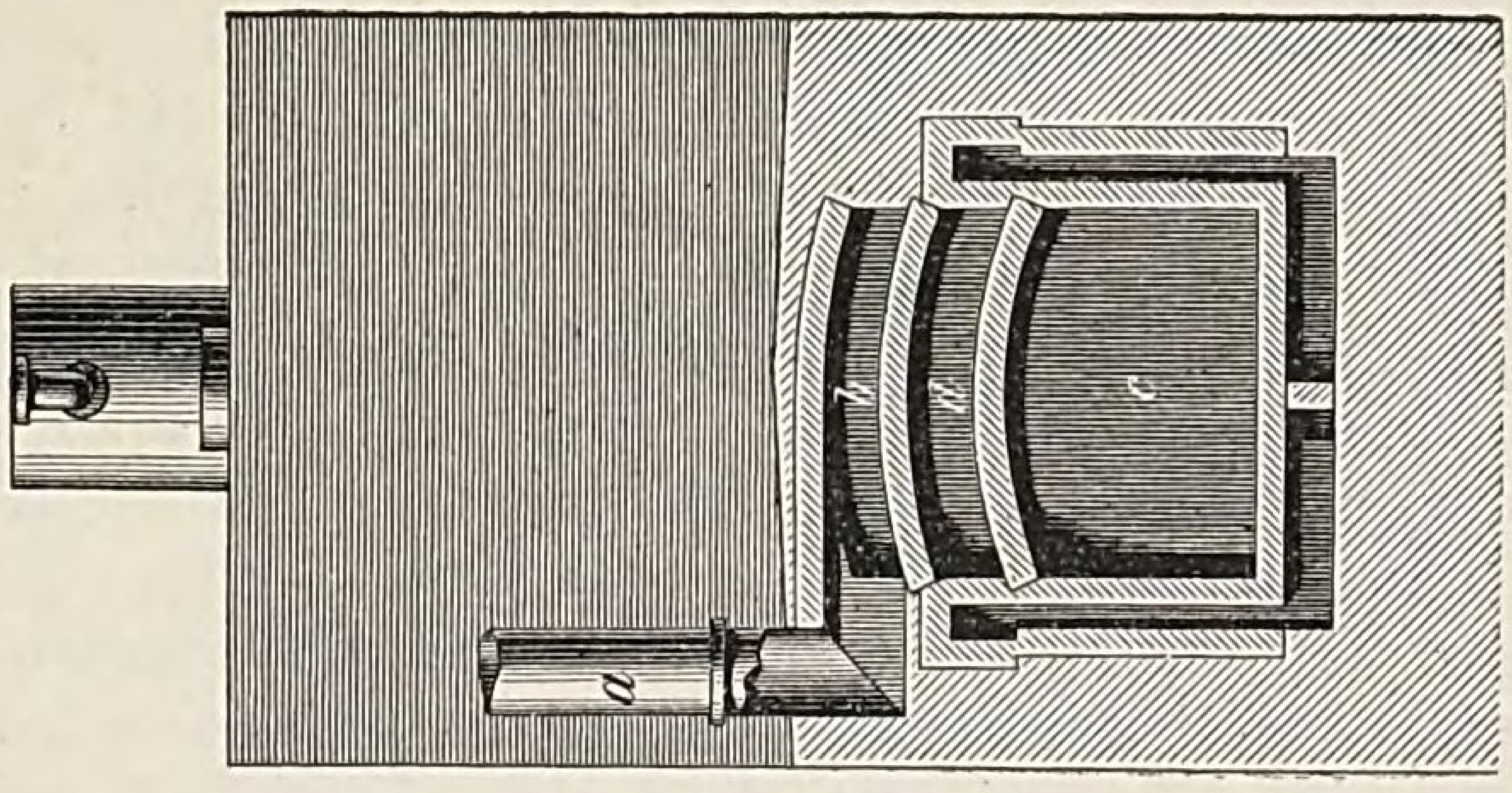
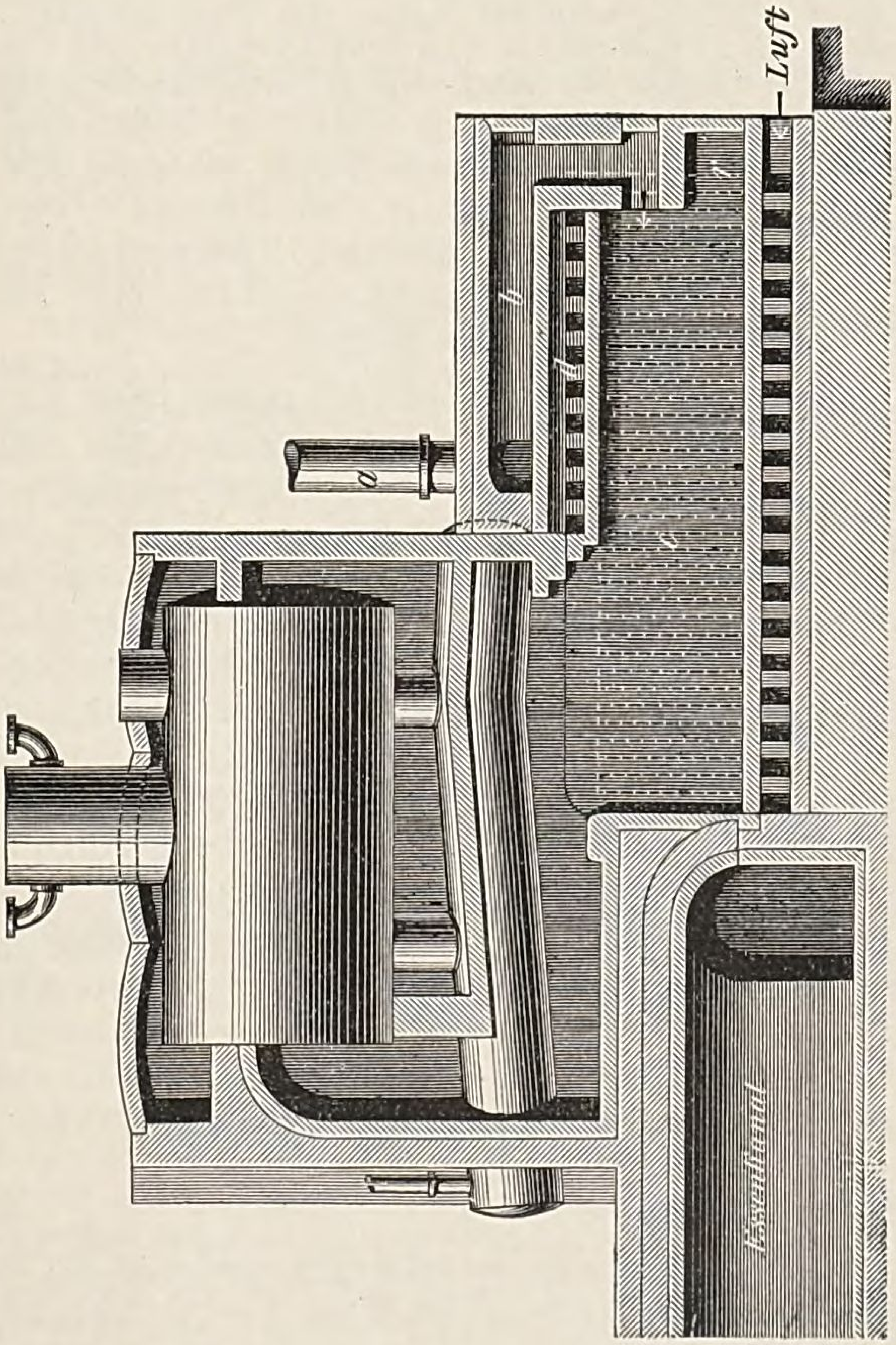


Fig. 138.



in den Leitungen erleichtert. Zwar würden bei einem Hochofen mit Gichtverschluss die Gase durch den unten einströmenden Wind ohnehin gezwungen werden, auch ohne jene Essenwirkung in den Leitungen sich weiter zu bewegen; aber ihre Spannung würde mit den Wider-

ständen wachsen, welche sie in den Leitungen finden, und dieser höheren Gasspannung müsste eine gesteigerte Leistung der Gebläsemaschine entsprechen. Durch die saugende Wirkung der Esse wird jene Gasspannung in der Leitung verringert; ja, es würde in manchen Fällen nicht schwierig sein, die Essenwirkung in so kräftiger Weise zur Geltung zu bringen, dass statt des Ueberdrucks in den Leitungen Unterdruck herrschte, und die Gasspannung im Hochofen geringer ausfiele, als wenn man die Gase in die freie Luft entweichen liesse. Eine solche Maassnahme würde jedoch fehlerhaft sein. Die Erfahrung lehrt, dass der Hochofengang durch Entstehung von Oberfeuer, d. h. durch Aufsteigen der Schmelztemperatur in den zur Reduction bestimmten Theil des Hochofens, leidet, wenn die Gasspannung im Hochofen allzu stark verringert wird; schlimmer noch ist die Entstehung von Explosionen in der Leitung durch Eintreten äusserer Luft in die Leitung, wenn der Atmosphärendruck grösser ist als der Gasdruck. Es entsteht Knallgas, und irgend eine Zufälligkeit kann die Entzündung herbeiführen.

Es ist deshalb nothwendig, durch Benutzung der vor jeder Ausflussöffnung des Gases anzubringenden Stellvorrichtung (Schieber, Drosselklappe) die Bewegung der Gase so zu regeln, dass an jeder Stelle der Leitung bis zum Austritte der Gase in den Heizraum ein, wenn auch nur geringer, Ueberdruck vorhanden ist. Durch Anbringung eines Manometers in der Nähe der Ausflussöffnung kann man sich leicht von der Erfüllung dieser Bedingung überzeugen.

Die Abmessungen der Essen am Ausgange jeder Heizvorrichtung müssen der Menge der entstehenden Verbrennungsgase und den Widerständen entsprechen, welche sowohl die Verbrennungsgase als die noch unverbrannten Gase auf ihrem Wege finden. Während bei Benutzung der Gase zur Heizung einfacher, thurmartig aufgebauter eiserner Winderhitzer und bei kurzen Leitungen zwischen dem Hochofen und der Verbrennungsstelle mitunter kaum eine besondere Esse erforderlich ist, da der schachtartige Heizraum selbst als Esse wirkt, hat man in anderen Fällen, wo die Gase einen langen Weg mit zahlreichen Krümmungen zurückzulegen haben, Essen von mehr als 80 m Höhe und 3 bis 4 m Durchmesser in Anwendung gebracht.[1]) Eine zu geringe Essenwirkung kann die Benutzungsfähigkeit einer ganzen Heizanlage in Frage stellen; eine allzu kräftige Wirkung lässt sich durch Handhabung der Stellvorrichtungen für den Zutritt des Gases und der Luft abschwächen.

Litteratur.

a) Einzelne Werke.

S. Jordan, Album du cours de métallurgie professé à l'école centrale des arts et manufactures. Paris 1875. Pl. XIV—XXVII.

A. v. Kerpely, Die Anlage und Einrichtung der Eisenhütten. Leipzig 1873. S. 569.

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten, Bd. II. Leipzig 1883.

1) Beispiele: „Stahl und Eisen" 1896, Seite 626; 1898, Seite 660.

b) Abhandlungen.

F. Lürmann, Ein Jahrhundert deutschen Kokshochofenbetriebes. „Stahl und Eisen" 1896, S. 802.

J. Gjers, A description of the Ayresome Iron Works (Middlesborough) with remarks upon the alterations in size of Cleveland furnaces. Journal of the Iron and Steel Institute 1871.

Th. Whitwell, The construction, dimensions and management of blastfurnaces. Iron vol. XI, p. 677, 745, 806; vol. XII, p. 456, 486.

L. Gruner, Formes et dimensions intérieures des hauts-fourneaux. Annales des mines, série 7, tome XII, p. 472.

F. Lürmann, Welche Form verhindert am wenigsten den regelmässigen Niedergang der Beschickung? „Stahl und Eisen" 1887, S. 164.

A. Ledebur, Ueber die Entwickelung der innern Form der Eisenhochöfen. „Stahl und Eisen" 1887, S. 310.

B. Samuelson, Notes on the construction and cost of blastfurnaces in the Cleveland district in 1887. Journal of the Iron and Steel Institute 1887, p. 91.

J. Birkinbine, The distribution and proportions of American blastfurnaces. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XIV, p. 561.

Die Hochofenanlage des South Chicago Stahlwerks. „Stahl und Eisen" 1887, S. 698.

J. Pohlig, Hochofenanlage zu Rümelingen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1888, S. 1045.

Die neue Hochofenanlage zu Ensley in Alabama. „Stahl und Eisen" 1888, S. 6.

Hochofen der Elizawerke in Pittsburg. „Stahl und Eisen" 1890, S. 700.

J. Gayley, Die Entwickelung des amerikanischen Hochofenbetriebs. „Stahl und Eisen" 1890, S. 1004.

Neue Hochofenanlage in Buffalo. „Stahl und Eisen" 1893, S. 552.

W. Hawdon, On the capacity and form of blastfurnaces. Journal of the Iron and Steel Institute 1894 I, p. 78; daraus in „Stahl u. Eisen" 1894, S. 577.

O. Simmersbach, Die Entwickelung der Roheisenindustrie Grossbritanniens. „Stahl und Eisen" 1897, S. 264, 309.

O. Simmersbach, Die Anthracit-Hochöfen in Süd-Wales. „Stahl und Eisen" 1897, S. 1057.

Hochofenanlage zu Creusot. Engineering vol. 65 (1898), p. 138.

Th. Jung, Die Roheisenindustrie an der Saar und Mosel. „Stahl und Eisen" 1895, S. 617, 656.

C. Sjögren, Die neue Hochofenanlage zu Kladno. Aus Jernkontorets annaler in „Stahl und Eisen" 1895, S. 859.

Die neue Hochofenanlage zu Duquesne. „Stahl und Eisen" 1897, S. 289, 356; auch Engineering vom 9. April 1897, S. 470.

Das Eisenwerk „Kraft". „Stahl und Eisen" 1897, S. 705.

van Vloten, Die technischen Fortschritte des deutschen Hochofenbetriebes. „Stahl und Eisen" 1895, S. 116.

Limbor, Ueber die Einwirkung der Hochofengase und der Alkalien auf das Zustellungsmaterial der Hochöfen. Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1878, S. 259.

F. Lürmann, Ueber das feuerfeste Mauerwerk der Hochöfen und dessen Erhaltung. „Stahl und Eisen" 1892, S. 265.

K. Sorge, Muss man Hochofenschächte unbedingt in feuerfestem Mauerwerk darstellen? „Stahl und Eisen" 1892, S. 268.

J. Gayley, Die Erhaltung der Wände von Gestell und Rast der Hochöfen. Aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers in „Stahl und Eisen" 1892, S. 424.

Ch. Cochrane, Ueber die Stellung der Formen bei Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 434, 555; Glasers Annalen, Bd. 11, S. 141.

F. Lürmann, Amerikanische Neuerungen an Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 1060.

F. Lürmann, Neueste amerikanische Hochofenanlagen. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 853.

Th. Jung, Ueber Hochofengasfänge. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1884, S. 969.

A. Weinlig, Einfluss der Gasfänge auf die Betriebsergebnisse der Hochöfen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1885, S. 245.

O. Simmersbach, Ueber die Verminderung der Gasverluste durch Anwendung doppelter Gichtverschlüsse. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 890.

Reinigung der Gichtgase. „Stahl und Eisen“ 1883, S. 499.

Beitrag zur Frage der Gichtgasreinigung. „Stahl und Eisen“ 1883, S. 609.

F. Lürmann, Die Befreiung der Gichtgase von mitgerissenem Staube. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1884, S. 263.

H. Macco, Gasreinigung und Winderhitzung. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1888, S. 180.

F. Lürmann, Einrichtungen zur Entfernung des in den Hochofengasleitungen ausgeschiedenen Staubes. „Stahl und Eisen“ 1896, S. 955.

Einrichtungen zur Entfernung des in den Hochofengasleitungen ausgeschiedenen Staubes. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 55.

H. Hubert, Die Verwendung der Hochofengichtgase zur Erzeugung motorischer Kraft. Uebersetzt von Fr. Toldt. Leoben 1897.

F. W. Lürmann, Verwendung der Hochofengase zur unmittelbaren Krafterzeugung. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 247, 495.

F. W. Lürmann, Betriebsergebnisse der Hochofen-Gasmaschine in Seraing. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 806.

III. Die Erzeugung, Erhitzung und Fortleitung des Gebläsewindes.

I. Die Gebläse.

Allgemeines.

Während bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts einfache hölzerne Spitzbälge — in den Abbildungen Fig. 97 bis 99 eines alten Hochofens erkennbar — die üblichste Form der Hochofengebläse bildeten, werden zum Betriebe der Hochöfen der Jetztzeit ausnahmslos Cylindergebläse benutzt. Kein anderes Gebläse ist im Stande, die für einen Hochofen erforderliche Windmenge und Windpressung unter gleich günstiger Ausnutzung der von der Betriebsmaschine geleisteten Arbeit wie ein gut eingerichtetes Cylindergebläse zu liefern, und die beträchtliche Leistungsfähigkeit der jetzigen Hochöfen würde nicht erreichbar gewesen sein, wenn nicht mit der Vergrösserung der Hochöfen auch eine Vergrösserung und Vervollkommnung der Cylindergebläse Hand in Hand gegangen wäre.

Der Erbauer des ersten Cylindergebläses war, soweit sich ermitteln lässt, der Engländer Smeaton, welcher 1768 auf der Carronhütte

in Schottland ein solches durch Wasserkraft betriebenes Gebläse anlegte. 1775 wurde durch John Wilkinson das erste Cylindergebläse mit Dampfbetrieb zur Anwendung gebracht; 1778 wurde durch eine englische Firma das erste derartige Gebläse auf dem Festlande, zu Creusot in Frankreich, angelegt.[1])

Die allgemeine Einrichtung eines Cylindergebläses darf als bekannt vorausgesetzt werden. Eine ausführlichere Besprechung gehört in das Gebiet der Maschinenlehre. An dieser Stelle kann nur die Aufgabe vorliegen, die Eigenthümlichkeiten der für den Hochofenbetrieb benutzten Cylindergebläse hervorzuheben und die Vortheile und Nachtheile der verschiedenen üblichsten Formen der Cylindergebläse bei ihrer Verwendung für den Hochofenbetrieb einander gegenüber zu stellen.

Die Windspannung, mit welcher die jetzigen Hochöfen betrieben werden, schwankt nach der Höhe der Oefen, der Dichtigkeit der Beschickung und der Verbrennlichkeit des Brennstoffs zwischen 0,1 bis 1,0 kg auf 1 qcm,[2]) obschon allerdings Windspannungen von mehr als 0,6 kg nicht gerade häufig und fast nur für Anthracithochöfen zur Anwendung gelangen. Die für grosse Hochöfen erforderliche Windmenge kann mehr als 600 cbm in einer Minute betragen.

Das Cylindergebläse muss also im Stande sein, diese Windmenge von der angegebenen Spannung zu liefern. Da aber der Hochofen Jahr ein Jahr aus ununterbrochen im Betriebe ist, und jeder Stillstand, verursacht durch erforderliche Ausbesserungen am Gebläse, nicht allein einen Ausfall in der Roheisenerzeugung mit sich bringt, sondern auch störende Nachwirkungen auf den Verlauf des Schmelzganges ausübt, muss das Cylindergebläse auch in solcher Weise gebaut sein, dass jene Ausbesserungen auf ein möglichst geringes Maass beschränkt bleiben.

Der Betrieb der Hochofengebläse geschieht fast immer durch Dampfkraft, für deren Erzeugung die Gichtgase des Hochofens bei zweckmässiger Einrichtung der Gasentziehung, Feuerungsanlage wie der Dampfmaschine auch dann auszureichen pflegen, wenn ein Theil der Gase zur Erhitzung des Gebläsewindes und zu anderen Zwecken benutzt wird (Seite 427). Die Dampfmaschinen pflegen mit starker Dampfspannung (gewöhnlich 5 bis 8 Atmosphären Ueberdruck) und Expansion betrieben zu werden; häufig kommen Woolfsche und Verbundmaschinen in Anwendung. Arbeitet die Maschine mit Condensation, so findet man nicht selten umfängliche Anlagen zur Abkühlung des benutzten Wassers, um dieses, ebenso wie das Kühlwasser für den Hochofen (Seite 425), wieder gebrauchsfähig zu machen.

Man wendet ein- und mehrcylindrige (zwei- oder dreicylindrige) Gebläsemaschinen für den Hochofenbetrieb an. Eincylindrige sind bei derselben Leistung billiger in der Anlage, machen aber die Anlage eines Regulators (siehe unten) erforderlich, um die Ungleichmässigkeiten des Windstromes auszugleichen, und erhalten bei grossem Wind-

1) Ludw. Beck, Die Geschichte des Eisens, Band 3, Seite 562; Abbildung des Gebläses zu Creusot: ebenda Seite 565.

2) 75 bis 750 mm Quecksilbersäule.

bedarfe sehr erhebliche Durchmesser, was in mehr als einer Hinsicht unerwünscht ist. Bei mehrcylindrigen Gebläsen lässt sich durch entsprechende Kurbelstellungen Abminderung jener Ungleichmässigkeit des Windstroms erzielen, und für ihren Betrieb lassen sich mit Vortheil Verbundmaschinen benutzen. Daher sind eincylindrige Maschinen jetzt weit seltener als zweicylindrige, und vereinzelt kommen auch dreicylindrige zur Anwendung.

Alle durch Dampf betriebenen Cylindergebläse sind mit Kurbelwelle und Schwungrad ausgestattet. Bei dem Betriebe durch ein Wasserrad lässt man dieses gewöhnlich die Stelle eines Schwungrades versehen.

Obwohl man durch einen raschen Gang des Cylindergebläses den Vortheil erreicht, dass für eine verlangte Windmenge die Abmessungen des Cylinders und aller übrigen damit zusammenhängenden Theile geringer ausfallen, das Gebläse daher leichter und in der Anlage billiger wird, die Arbeitsverluste durch Reibung wegen des geringeren Gewichts der bewegten Theile ebenfalls sich entsprechend verringern und hierdurch eine günstigere Ausnutzung der geleisteten Arbeit erreicht wird, vermeidet man doch gerade bei Hochofengebläsen gern eine übermässige Geschwindigkeit, durch welche die Gefahr häufiger Beschädigungen nahe gelegt werden könnte. Im Durchschnitt beträgt die mittlere Kolbengeschwindigkeit neuerer Hochofengebläse etwa 1,2 m in der Secunde, die grösste 2,0 m. Gebläse, deren Einrichtung grössere Gewähr für Haltbarkeit giebt, haben wohl eine etwas grössere, andere eine etwas geringere Kolbengeschwindigkeit, bedeutende Abweichungen jedoch sind selten und finden sich fast nur bei älteren Gebläsen mangelhafter Einrichtung.

Das Verhältniss der Hublänge zum Durchmesser beträgt bei den meisten Hochofengebläsen 0,7 bis 0,8.[1])

Das Cylindergebläse nebst Dampfmaschine muss in einem besonderen Gebäude aufgestellt werden, um gegen Staub und sonstige äussere Einflüsse nach Möglichkeit geschützt zu sein. In diesem Gebäude pflegt jedoch die Luft wegen des Entweichens von Wasserdampf aus den unvermeidlichen undichten Stellen der Dampfleitung oder, bei Gebläsen mit Wasserkraft, wegen der Nähe des Wassergrabens feucht zu sein; der Hochofen erhält also, sofern die Gebläseluft unmittelbar von hier entnommen wird, zugleich Wasserdampf, durch dessen Zersetzung im Verbrennungsraume Wärme verbraucht wird. Grosse Gebläse aber erzeugen innerhalb eines geschlossenen Gebläsehauses leicht einen luftverdünnten Raum, wodurch die Leistung des Gebläses beeinträchtigt und starke Zugluft, begleitet von Staubentwickelung und einer Erschütterung der Thüren und Fenster, hervorgerufen werden kann. Zweckmässig ist es daher, die Luft nicht aus dem Gebläsehause entnehmen zu lassen, sondern die Saugöffnungen durch einen weiten gemauerten Kanal (bei liegenden Gebläsen) oder ein weites Rohr mit der

1) Geringe Hublängen bedingen häufige Hubwechsel, und jeder Hubwechsel schmälert die Leistung des Gebläses, indem er den schädlichen Raum zur Geltung kommen lässt und kleine Ungenauigkeiten in der Arbeit der Ventile oder sonstigen Absperrvorrichtungen im Gefolge zu haben pflegt; grosse Hublängen machen das Gebläse schwerfälliger und in der Anlage kostspieliger.

Liegendes Hochofengebläse mit Verbunddampfmaschine

von der Gutehoffnungshütte in Oberhausen gebaut.

1/100 der wirklichen Grösse.

Fig. 140.

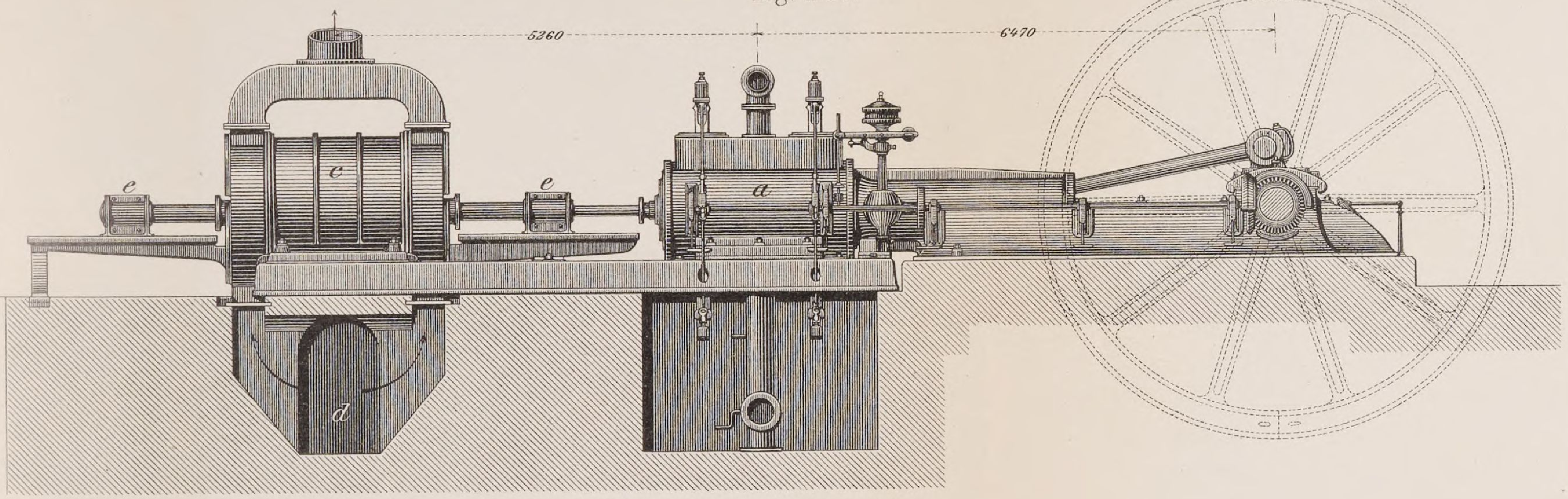
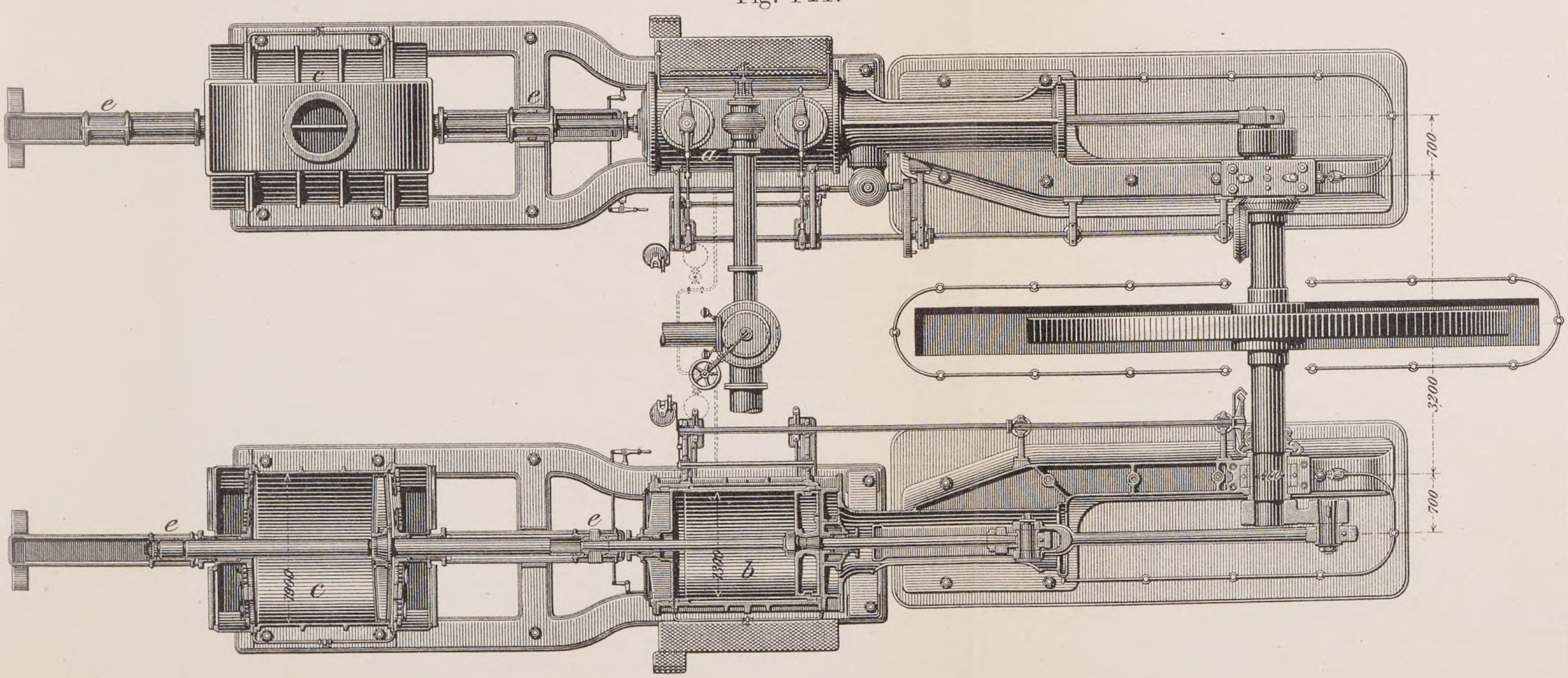


Fig. 141.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

äusseren Luft in Verbindung zu setzen, so dass die Luft des Gebläsehauses durch den Gang des Gebläses unbeeinflusst bleibt.

Werden mehrere Hochöfen betrieben, so giebt man gern einem jeden seine eigene Gebläsemaschine und eigene Windleitung.

Die üblichsten Gebläseformen.

Liegende Gebläse. Sie werden fast ausnahmslos zweicylindrig gebaut. Sämmtliche Cylinder (Gebläse- und Dampfcylinder) haben wagerechte Achse; die Kolbenstange des Dampfcylinders ist mit der des zugehörigen Gebläsecylinders gekuppelt. Der Gebläsecylinder liegt an dem einen Ende, der Dampfcylinder in der Mitte, das durch Kurbel und Schubstange betriebene, für beide Cylinder gemeinschaftliche Schwungrad am andern Ende. In Fig. 140 und 141 ist ein solches zweicylindriges, von der Gutehoffnungshütte in Sterkrade gebautes Gebläse mit Verbunddampfmaschine abgebildet. *a* ist der Hochdruck-, *b* der Niederdruckdampfcylinder, *cc* sind die Gebläsecylinder; zwischen den Dampfcylindern liegt der Receiver. Zwei kräftige Gusseisenrahmen tragen die zu einander gehörigen Cylinder und die Lager der Schwungradwelle. Die Luft strömt durch den in Fig. 140 erkennbaren unterirdischen Kanal *d* von aussen her zu, der Wind wird durch das oberhalb der Cylinder angeschlossene Rohr in die gemeinschaftliche Leitung geführt.

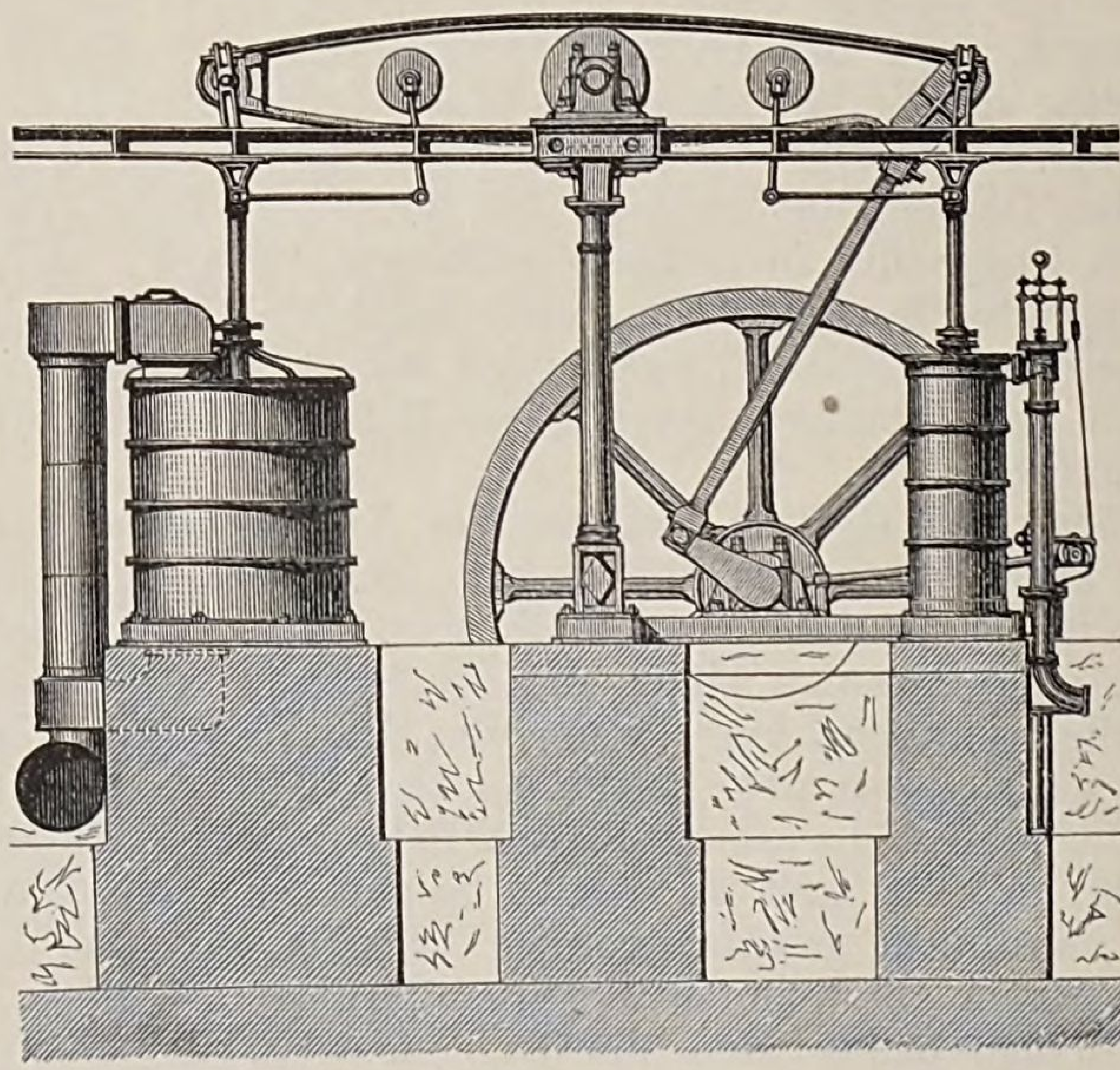
Die liegenden Gebläse besitzen den Vorzug, dass sie leicht zu übersehen, leicht zugänglich und deshalb in der Wartung bequem sind. Der ihnen früher häufig gemachte Vorwurf, dass durch das Gewicht der Kolben eine einseitige Abnutzung der Cylinderwände herbeigeführt werde, verliert an Bedeutung, wenn der Hub nicht allzu beträchtlich genommen wird (selten über 1,7 m bei etwa 2,25 m Durchmesser der Windcylinder), die Kolbenstangen der Windcylinder bei grossem Durchmesser hohl gefertigt und an beiden Seiten der Windcylinder durch besondere Führungen gestützt werden. In Fig. 140 sind bei *e e* die für diesen Zweck bestimmten Schlittenführungen sichtbar. Der erwähnten Vorzüge halber sind die liegenden Gebläse in der Jetztzeit eine der am häufigsten benutzten Gebläseformen; auf deutschen Hochofenwerken sind sie zahlreicher in Anwendung als alle übrigen Gebläse zusammen. Den Ausschlag gegen ihre Wahl kann ein Mangel an Platz geben, da für die Aufstellung eine ziemlich bedeutende Grundfläche erforderlich ist.

Schwinghebelgebläse. Sie gehören zu den ältesten aller Cylindergebläse und sind ihrer Standfestigkeit und Dauerhaftigkeit halber, welche Eigenschaften im Vereine mit der senkrechten Stellung der Cylinder zugleich die Anwendung grosser Hublängen ermöglichen, auch jetzt noch bisweilen, wenn auch verhältnissmässig selten, in Anwendung. Denn unter allen Cylindergebläsen ist das Schwinghebelgebläse das kostspieligste in seiner Anlage; ausser den eigentlichen Anschaffungskosten erfordert es einen kostspieligen Unterbau, eine Grundfläche von annähernd gleicher Grösse wie die liegenden Gebläse, aber ein Gebläsehaus von beträchtlicherer Höhe, und die Beaufsichtigung und Wartung der Maschine ist weniger einfach als die der liegenden Maschinen.

Fig. 142 zeigt in $^1/_{175}$ der wirklichen Grösse die Anordnung eines eincylindrigen Schwinghebelgebläses mit Kurbel und Schwungrad.[1]) Rechts steht der Dampfcylinder, links der Gebläsecylinder, durch Vermittelung des auf eisernen Säulen gelagerten Schwinghebels von jenem aus angetrieben. An den Enden der Kolbenstangen sind die Parallelogramme erkennbar, dazu bestimmt, die Geradführung der Kolbenstangen bei der schwingenden Bewegung der Angriffspunkte am Schwinghebel zu sichern.[2])

Statt der Maschine mit einem Dampfcylinder kommt nicht selten eine Woolfsche Dampfmaschine in Anwendung.

Fig. 142.



Mehrcylindrige Maschinen sind seltener als eincylindrige, da man dem stehenden Gebläsecylinder ohne Nachtheil einen grösseren Durchmesser als dem Cylinder der liegenden Gebläse geben kann. Für jedes Cylinderpaar (Dampf- und Gebläsecylinder) ist bei den mehrcylindrigen Gebläsen ein besonderer Schwinghebel erforderlich und die Schubstangen treiben die gemeinschaftliche Kurbelwelle, deren Kurbeln unter entsprechendem Winkel (bei zwei Cylindern unter 90°) gegen einander gestellt sind.

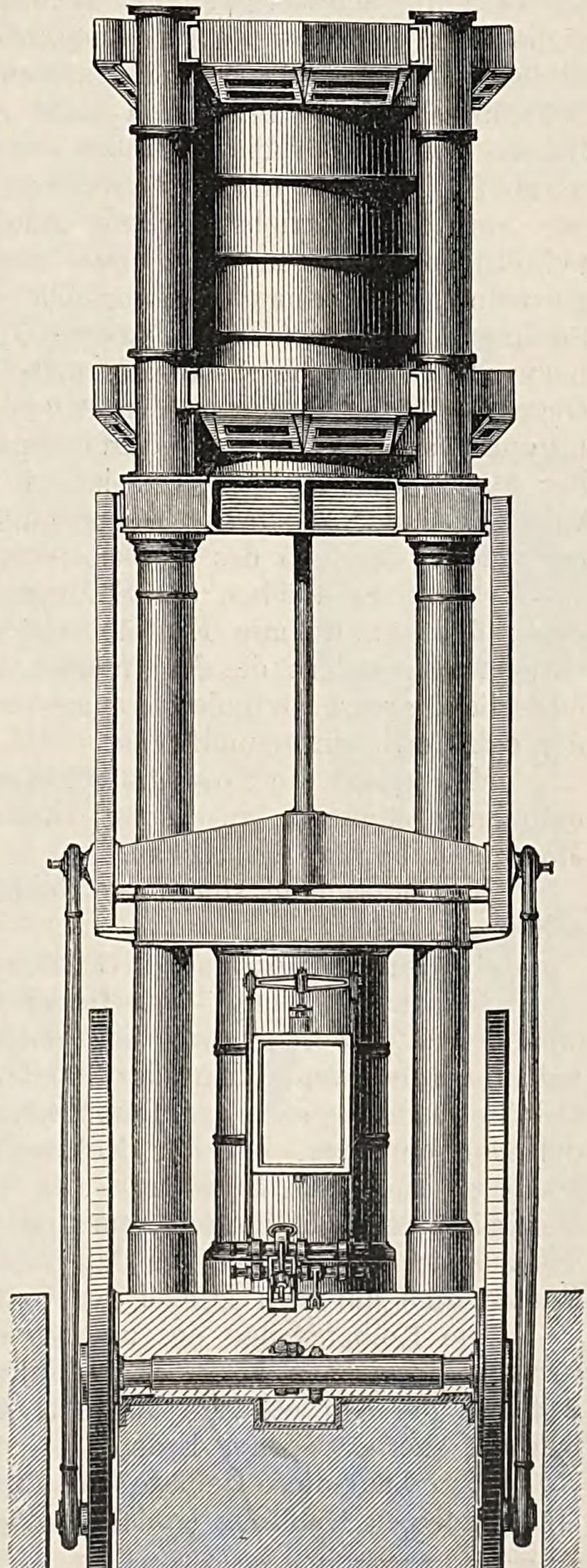
Die Schwungradwelle befindet sich entweder, wie in der Abbildung, zwischen beiden Cylindern, oder häufiger vor dem Dampfcylinder. Der Schwinghebel pflegt in diesem Falle mit einer horn-

1) Aus J. Schlink, Ueber Gebläsemaschinen, Fig. 6.

2) Bei neueren Maschinen findet man statt der Parallelogramme häufiger Prismengradführungen.

artigen Verlängerung versehen zu sein, an welcher die Schubstange angreift.[1]) Man giebt Schwinghebelgebläsen Cylinderdurchmesser bis zu 3,5 m (selten allerdings über 3 m) und Hubhöhen bis zu 3 m (Verhältniss der Hubhöhe zum Durchmesser $^5/_6$—$^6/_5$).

Fig. 143.



Stehende Gebläse mit doppelten Kurbelstangen oder Seraingg ebläse. Die Einrichtung dieser Gebläse, welche seit Anfang der fünfziger Jahre in besonders grosser Zahl von der Firma John Cockerill in Seraing gebaut wurden und ihre grösste Verbreitung gegen Ende der sechziger Jahre und im Anfange der siebziger Jahre fanden, ist durch die Abbildung Fig. 143 dargestellt.

Auf einem von Säulen oder Ständern getragenen Rahmen ist der Gebläsecylinder befestigt, dessen abwärts gerichtete Kolbenstange mit der Kolbenstange des unten befindlichen Dampfcylinders gekuppelt ist. Von den Kolbenstangen wird ein in senkrechten Führungen gleitendes Querhaupt bewegt; dient eine Woolfsche Dampfmaschine für den Antrieb, was ziemlich häufig der Fall ist, so tragen deren beide parallele Kolbenstangen das Querhaupt, an welches die Kolbenstange des Windcylinders angeschlossen ist. Das Querhaupt endigt an beiden Seiten in Zapfen, an welchen zwei Kurbelstangen angreifen. Mit dem anderen Ende sind die letzteren an die zwei Schwungräder angeschlossen, welche zwischen Kurbelstange und Dampfcylinder angeordnet sind und deren Welle unterhalb des Dampfcylinders im Grundgemäuer gelagert ist.

1) Beispiele dieser Einrichtung und die Gründe für ihre Anwendung: J. Schlink im genannten Werke, Seite 7; A. von Ihering, Die Gebläse, Seite 25.

Der Umstand, dass zwischen Dampf- und Gebläsecylinder dieser Gebläse ein ausreichender Raum für die Bewegung des Querhauptes bleiben muss, bedingt eine beträchtliche Höhe des Gebläses, und mit dieser Höhe wächst ebensowohl die Höhe des erforderlichen Gebäudes als auch die Schwierigkeit der Beaufsichtigung. Die ganze Anordnung eignet sich vorzugsweise für eincylindrige Gebläse, und mehrcylindrige bilden Ausnahmen.[1]) Bei allen stehenden eincylindrigen Gebläsen ohne Schwinghebel aber findet, da beim Aufgange der Kolben die sämmtlichen bewegten Theile gehoben werden müssen, beim Niedergange durch ihr Gewicht Arbeit verrichten, eine ungleichmässige Ausnutzung der von der Antriebsmaschine geleisteten Arbeit statt. Bei mehrcylindrigen Gebläsen kann man durch entsprechende Stellung der Kurbeln gegen einander Ausgleich schaffen; bei den eincylindrigen Seraingmaschinen (deren bewegte Theile mitunter ein Gewicht von mehr als 8 t besitzen) benutzt man für denselben Zweck gewöhnlich Gegengewichte, welche am Kranze der Schwungräder befestigt werden; mitunter auch sucht man durch Anwendung eines Differenzialkolbens der Dampfmaschine den Uebelstand abzuschwächen, d. h. durch Anwendung einer dickeren Kolbenstange, welche den freien Cylinderquerschnitt oberhalb des Kolbens entsprechend verringert.

Diesen Schwächen der Seraingg ebläse stehen als Vorzüge gegenüber: die unmittelbare Kraftübertragung, wodurch alle Zwischentheile entbehrlich werden; die Möglichkeit, grosse Kolbenhübe und, wenn erforderlich, grosse Cylinderdurchmesser anzuwenden; die geringe Grösse der erforderlichen Grundfläche.

Man pflegt die Seraingmaschinen in Grössen bis zu 3 m Gebläsecylinderdurchmesser zu bauen; die Hubhöhe der meisten grösseren Maschinen beträgt 2,5—2,8 m.

In Deutschland sind diese Gebläse in den letzten Jahren ziemlich selten geworden.

Stehende Gebläse mit einer Kurbelstange oder Cleveland-Gebläse. Dampf- und Gebläsecylinder stehen unmittelbar über einander und werden, wie der Windcylinder der Seraingg ebläse, auf hohem Gerüst von Säulen oder Ständern getragen. Bei einzelnen dieser Gebläse befindet sich der Dampfcylinder zu oberst und der Gebläsecylinder darunter; bei der Mehrzahl bildet der Gebläsecylinder den höchsten Theil der Maschine. Die erstere Anordnung hat zwar den Vortheil eines gefälligeren Aeusseren, ist aber insofern ungünstig, als das aus der Stopfbuchse des Dampfcylinders herabtröpfelnde verdichtete Wasser sich auf dem Deckel des Gebläsecylinders ansammelt.

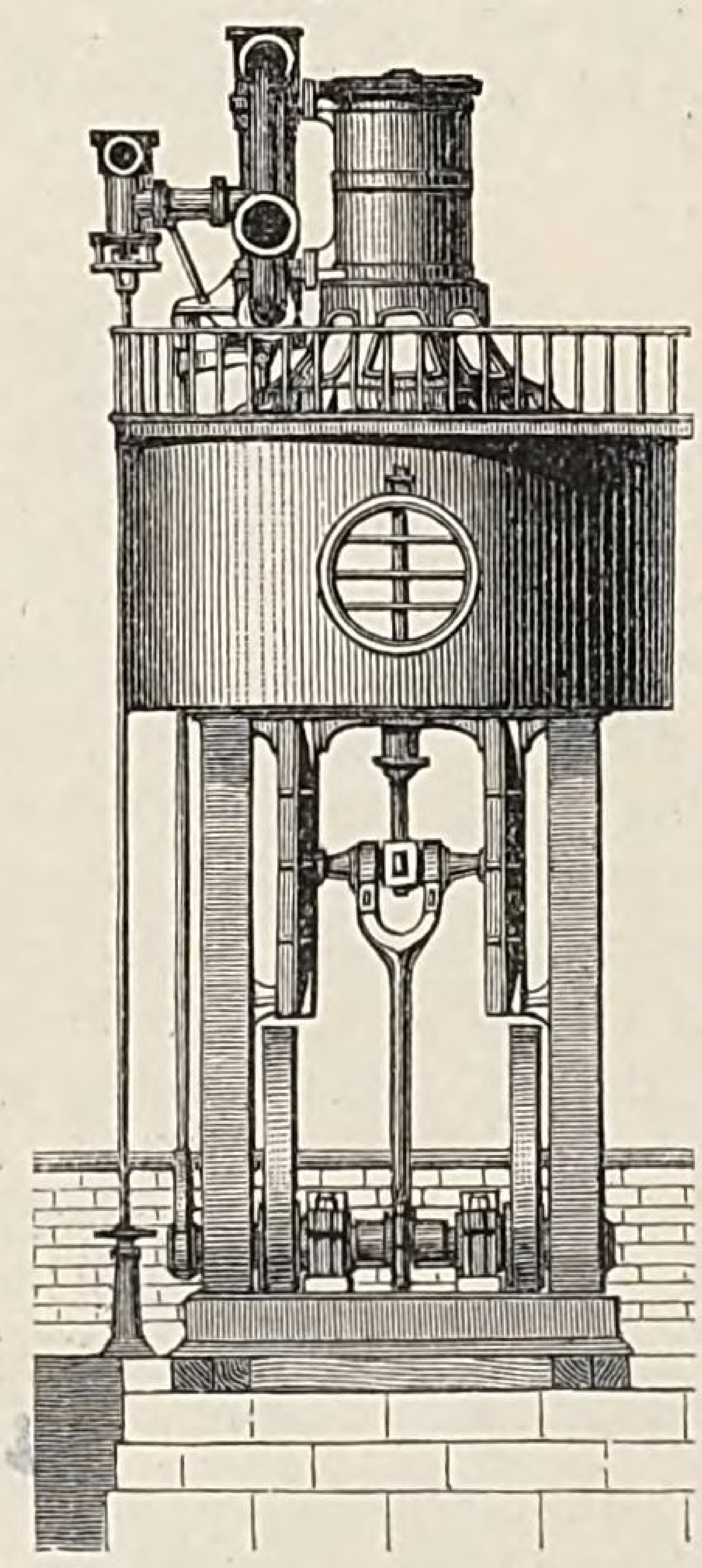
Die Kolbenstange des unteren der beiden Cylinder endigt unten in einem zwischen senkrechten Führungen gleitenden Kreuzkopfe, an welchen die Kurbelstange angreift; die Kurbel- und Schwungradwelle befindet sich zu ebener Erde.

Man baut diese Gebläse ein-, zwei- oder auch dreicylindrig. Bei eincylindrigen Gebläsen (welche jedoch in der Jetztzeit ziemlich selten

1) Beispiel eines zweicylindrigen Gebläses, dessen Cylinder nach Art der Seraingg ebläse angeordnet sind: Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1891, Seite 457; „Stahl und Eisen“ 1891, Tafel 12; auch A. von Ihering, Die Gebläse, Tafel 1.

sind) lässt man die Kurbelstange in der Mitte der gekröpften Kurbel angreifen und bringt auf jeder Seite ein Schwungrad an. Die Abbildung Fig. 144 zeigt eine solche Anordnung. Der Windcylinder des abgebildeten Gebläses ist mit weitem Blechmantel umhüllt, der durch ein Rohr mit der Luft ausserhalb des Gebläsehauses in Verbindung steht. Ist das Gebläse zweicylindrig, so bringt man die Kurbeln an den Enden der Schwungradwelle an und nur ein Schwungrad in der Mitte zwischen beiden Kurbeln. Stellt man hierbei die Kurbeln unter 90 Grad gegen einander, wie bei liegenden Gebläsen, so findet zwar Ausgleich der Ungleichmässigkeiten des Windstromes statt, nicht aber völliger Ausgleich der durch das Gewicht der bewegten Theile verursachten Ungleichmässigkeiten in der Ausnutzung der von der Dampfmaschine geleisteten Arbeit; stellt man dagegen die Kurbeln um einen Winkel von 180 Grad gegen einander, so gleichen sich die Gewichte der bewegten Theile gegenseitig aus, aber für die Erzielung eines gleichmässigen Windstromes ist die Anwendung eines Regulators erforderlich.

Fig. 144.



Bei Drillingsgebläsen werden die Kurbeln um 120 Grad gegen einander verstellt, wodurch ebensowohl Gewichtsausgleichung als Ausgleichung der Ungleichmässigkeiten des Windstromes erreicht wird.

Ein von der Kölnischen Maschinenbau-Aktiengesellschaft zu Bayenthal bei Köln gebautes derartiges zweicylindriges Gebläse mit Verbunddampfmaschine ist in Fig. 145 und 146 abgebildet. Die Windcylinder *c c* befinden sich oben, die Dampfcylinder darunter. Der mit *a* bezeichnete Dampfcylinder links (Fig. 146) ist der Hochdruckcylinder, der mit *b* bezeichnete rechts der Niederdruckcylinder. Zwischen den Windcylindern ist der Windsammler *d*, zwischen den Dampfcylindern, etwas seitlich, der Receiver *e* angebracht. Seitlich von der Maschine am Boden gewahrt man die Luftpumpe für die Condensation, welche durch einen Schwinghebel vom Kreuzkopfe des Niederdruckcylinders aus angetrieben wird, sowie gegenüber in einer Vertiefung eine Kaltwasserpumpe, in gleicher Weise vom Kreuzkopfe des Hochdruckcylinders aus angetrieben.[1])

Die Clevelandgebläse, zumal die eincylindrigen, besitzen ähnliche Vor- und Nachtheile wie die Seraingгebläse; die mehrcylindrigen haben vor den eincylindrigen Seraingгebläsen die schon erwähnten Vorzüge voraus. Einen gewissen Nachtheil bildet der Umstand, dass bei gleichen Hublängen die Gesammthöhe des Clevelandgebläses noch beträchtlicher ausfällt als bei den Seraingгebläsen. Die Ursache hierfür ist bei einem

1) Einige nähere Mittheilungen über die abgebildete Maschine enthält „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 132.

Vergleiche der beiden verschiedenen Anordnungen erkennbar: bei den Serainggebläsen befinden sich die Kurbelstangen, deren Länge immerhin in einem bestimmten Verhältnisse zu der Hublänge stehen muss, neben dem Dampfcylinder; bei den Clevelandgebläsen muss unterhalb der Führungen für den Kreuzkopf noch eine der Länge der Kurbelstange entsprechende Höhenabmessung zugegeben werden.

Man giebt deshalb diesen Clevelandgebläsen geringere Hubhöhen, damit die Gesammthöhe des Gebläses nicht allzu beträchtlich ausfalle, selten über 1,8 m; der Durchmesser der Windcylinder pflegt 2,0 bis 2,5 m, vereinzelt bis zu 3 m zu betragen.

Seit Anfang der sechziger Jahre sind die Clevelandgebläse bei dem Hochofenbetriebe der meisten Länder ziemlich häufig zur Anwendung gekommen, und sie bilden nach den liegenden Gebläsen die jetzt üblichste Gebläseform.

2. Die Regulatoren.

In Vorstehendem ist mehrfach erwähnt worden, dass bei Anwendung eincylindriger Gebläse eine besondere Ausgleichvorrichtung — ein Regulator — in die Windleitung eingeschaltet werden müsse zu dem Zwecke, die Unregelmässigkeiten des Windstromes abzuschwächen oder zu beseitigen, welche durch den steten Wechsel in der Bewegung des Gebläsekolbens hervorgerufen werden. Unter den verschiedenen für diesen Zweck vorgeschlagenen Einrichtungen findet bei Hochofenanlagen nur eine einzige Verwendung: ein geräumiger Behälter, durch welchen der Gebläsewind hindurchströmt, und welcher demnach ununterbrochen mit gepresster Luft gefüllt ist. Die Wirkung dieser eingeschlossenen Luft ist der einer Feder oder eines Schwungrades ähnlich; beim Zuströmen einer grossen Windmenge wird sie stärker gespannt, und wenn der Zufluss nachlässt, schafft sie durch Abgabe von Wind Ausgleich. Es ist leicht zu ermessen, dass die Leistung des Regulators um so vollständiger sein muss, je grösser sein Rauminhalt ist. Bei grossen Anlagen mit weiten Windleitungsröhren können diese die Aufgabe des Regulators erfüllen; auch die unten beschriebenen steinernen Winderhitzer mit grossem räumlichen Inhalte können die Einschaltung eines besonderen Regulators entbehrlich machen. Ebenso pflegt man davon abzusehen, wenn zweicylindrige Gebläse, deren Kurbeln unter 90° gegen einander gestellt sind, zur Anwendung kommen, oder wenn mehrere Gebläse ihren Wind in eine gemeinschaftliche Leitung entlassen. Aus diesen Gründen findet man bei grösseren Hochofenanlagen eigentliche Regulatoren nur noch selten in Benutzung. Man fertigt sie aus Eisenblech in Form eines weiten senkrecht stehenden oder wagerecht liegenden, an geeigneter Stelle in die Leitung eingeschalteten Rohrs.[1]) Nach von Hauer soll bei eincylindrigen Gebläsen der Inhalt des Regulators mindestens das 20fache von dem Inhalte des Gebläsecylinders betragen.

1) Auf Abbildungen von Hochofenanlagen aus der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts gewahrt man nicht selten Regulatoren in Form einer grossen Kugel. Man ging dabei von der Thatsache aus, dass die Kugel bei gegebenem Rauminhalte die geringste Fläche besitzt, und dass also für ihre Herstellung auch der geringste Materialbedarf entfällt. Die Anfertigung aber ist umständlicher als die eines Cylinders und die Wahl eines geeigneten Platzes für die Aufstellung schwieriger.

Stehendes Hochofengebläse mit Verbund-Dampfmaschine,

von der Kölnischen Maschinenbau-Aktiengesellschaft
in Bayenthal bei Köln gebaut.

1/150 der wirklichen Grösse.

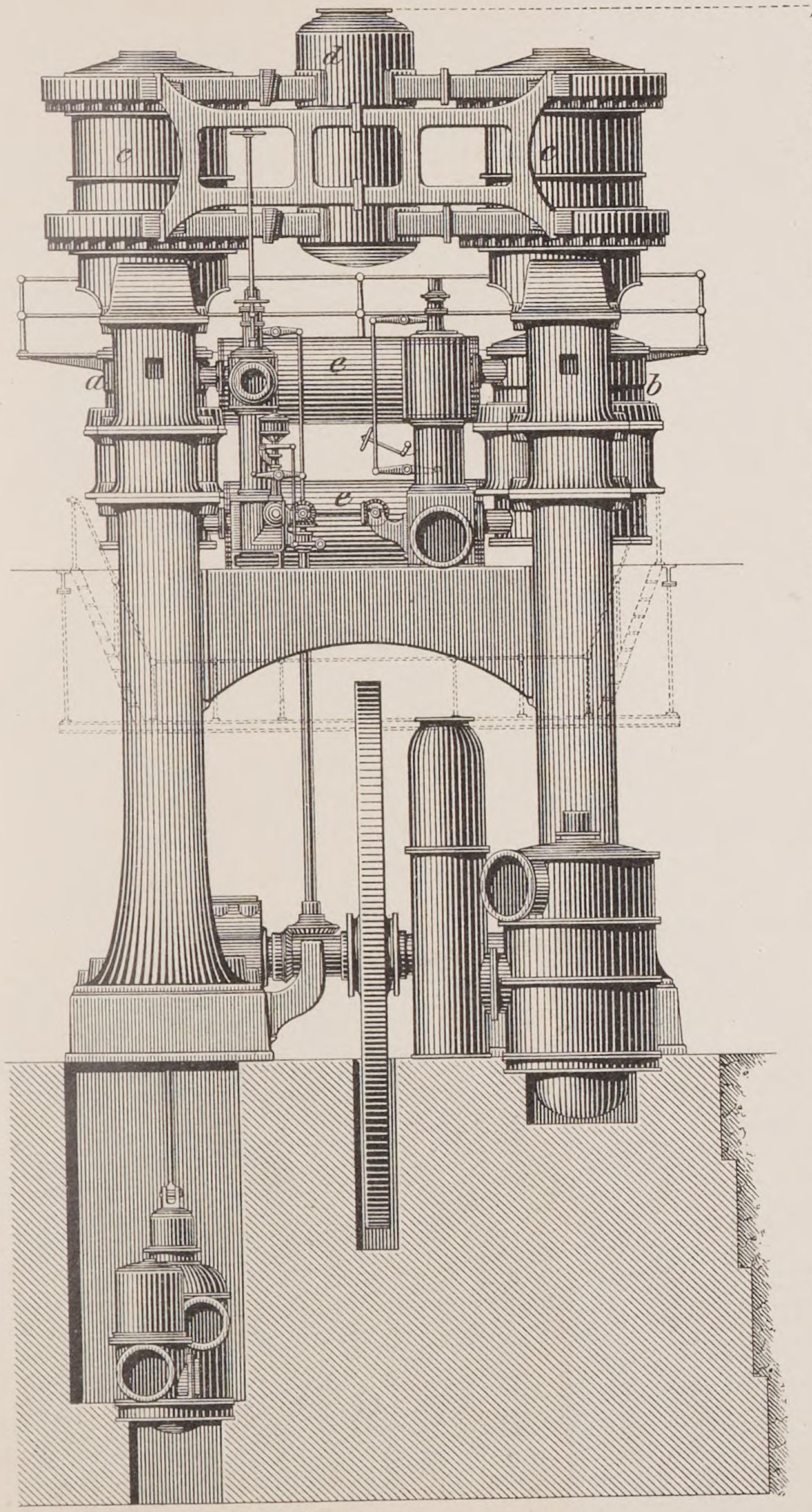


Fig. 145.

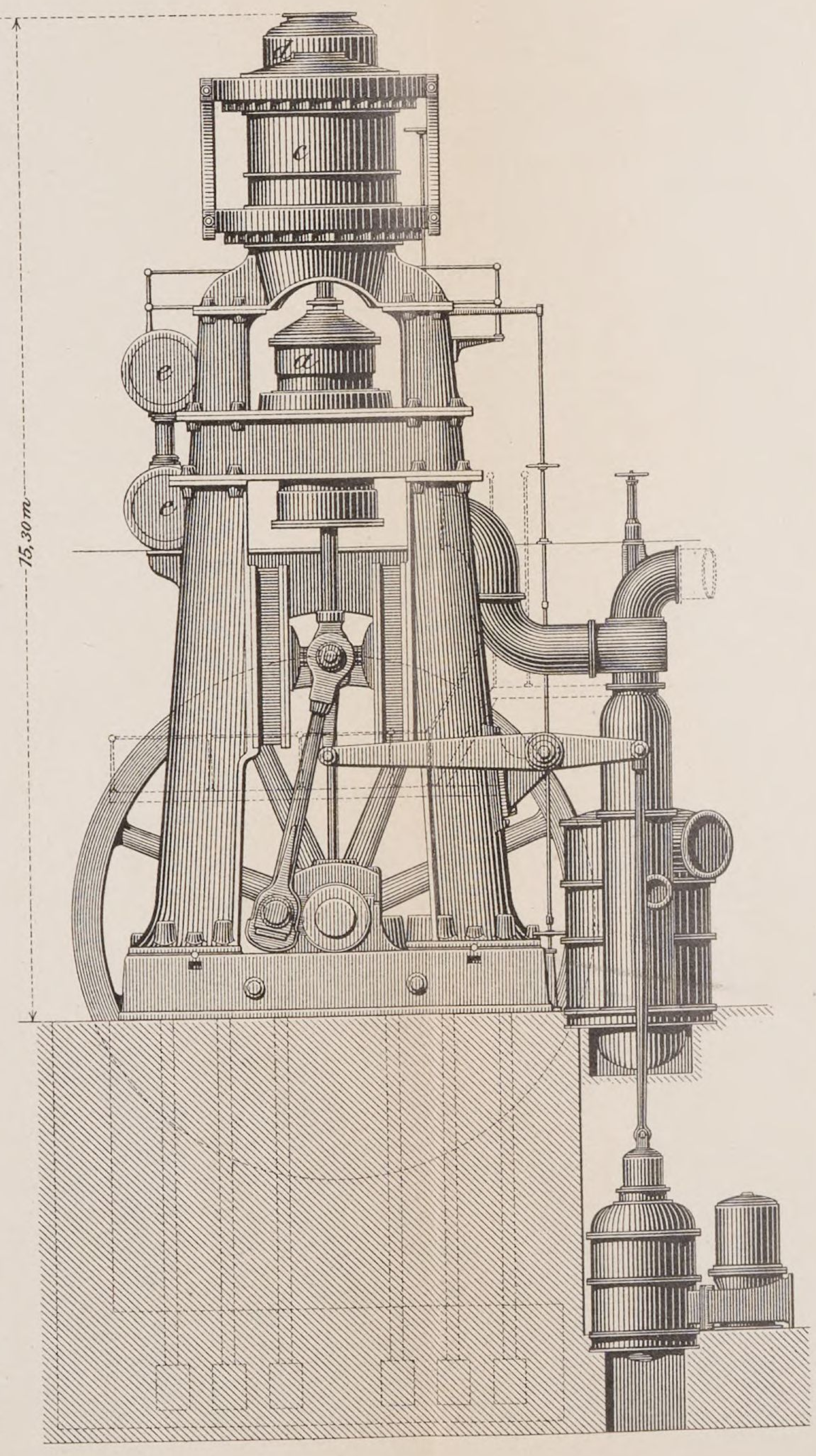


Fig. 146.

Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Tecnn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

3. Die Winderhitzer.

Geschichtliches. Eintheilung der Winderhitzer.

Eine Erfindung von vorher ungeahnter Tragweite war die Anwendung erhitzten Windes beim Hochofenbetriebe. Viele Millionen Tonnen Brennstoff sind dadurch gespart worden; die Schwierigkeiten der Betriebsführung sind verringert worden, und verschiedene Erzeugnisse des Hochofenbetriebes, welche jetzt als unentbehrlich gelten (Eisenmangan, Siliciumeisen) würden ohne Anwendung erhitzten Windes sich überhaupt nicht gewinnen lassen.

Der Erfinder war James Beaumont Neilson, Beamter der Gasanstalt zu Glasgow. Bei der versuchsweisen Benutzung erwärmter Luft zum Betriebe eines Schmiedefeuers beobachtete er, dass die Verbrennung lebhafter wurde; sein Vorschlag, den für den Hochofenbetrieb bestimmten Wind vorzuwärmen, fand jedoch bei den Fachleuten lebhaften Widerspruch. Man hatte längst beobachtet, dass der Gang der Hochöfen im Winter durchschnittlich günstiger war als im Sommer, und man schrieb diesen Umstand unmittelbar der niedrigeren Temperatur des Windes im Winter zu.[1]) Absichtlich kühlte man bisweilen im Sommer den Wind, indem man ihn über kaltes Wasser leitete oder die Leitungsröhren mit Eis umgab. 1828 nahm Neilson ein Patent auf die Erhitzung des Windes für Schmiedefeuer und Schmelzöfen; nachdem ein von ihm bei einem Hochofen der Clyde-Eisenwerke angestellter vorläufiger Versuch erfolgverheissend gewesen war, wurde 1829 der erste Winderhitzer für dauernden Betrieb auf demselben Werke eingeführt. Trotz der Unvollkommenheit der ersten Anlage, welche nur eine Erwärmung auf 100° C. ermöglichte, war doch der Erfolg überraschend befriedigend; der Brennstoffverbrauch für Darstellung gleicher Mengen Roheisen verringerte sich, und die Erzeugungsfähigkeit des Hochofens stieg. Neilson selbst verbesserte bald die Einrichtung seiner Winderhitzer, und wenige Jahre später wurden bereits fast sämmtliche Hochöfen Schottlands mit warmem Winde betrieben. In der Jetztzeit gehört ein mit kaltem Winde betriebener Hochofen zu den grössten Seltenheiten, nachdem man gelernt hat, einer etwaigen Benachtheiligung der Eigenschaften des erfolgenden Roheisens, welche durch Erhitzung des Windes herbeigeführt werden könnte, durch zweckmässige Zusammensetzung der Hochofenbeschickung entgegen zu wirken. Wesentlich gefördert wurde die allgemeine Anwendung der neuen Erfindung durch eine andere, bald darauf von Faber du Faur gemachte Erfindung: die Entziehung und Benutzung der Gichtgase des Hochofens (Seite 101), und in Wasseralfingen, der Geburtsstätte der Gasfeuerungen, wurde auch die Heizung der Winderhitzer mit Hochofengasen zuerst erprobt. Erst durch diese Einrichtung erhielt man die Möglichkeit, die Vortheile der Winderhitzung in vollem Maasse auszunutzen, ohne fremden Brennstoffs dafür zu bedürfen.[2])

1) In Wirklichkeit bedingt der niedrigere Feuchtigkeitsgehalt der Winterluft den Unterschied. Näheres bei Besprechung des chemischen Verlaufs des Hochofenschmelzens.

2) Näheres über die Erfindung und erste Vervollkommnung der Anwendung erhitzten Windes: Ludw. Beck, Die Geschichte des Eisens, Band 4, Seite 310 und 408; „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 509.

Ziemlich mannigfaltig ist die Einrichtung der für die Winderhitzung benutzten Vorrichtungen. Im Grossen und Ganzen jedoch lassen sich zwei Hauptgruppen von Winderhitzern unterscheiden.

Bei der einen, älteren Gruppe wird der Wind durch eiserne Röhren hindurchgeführt, welche innerhalb einer gemauerten Kammer — eines Ofens — von aussen erhitzt werden; man nennt sie eiserne Winderhitzer.

Bei der anderen Gruppe strömt der Wind durch eine gemauerte, mit feuerfesten Steinen ausgesetzte, zuvor stark erhitzte Kammer, hier sich erwärmend, während die Kammer Wärme abgiebt; eine zweite gleiche Kammer wird inzwischen durch das hindurchströmende und verbrennende Gas geheizt. Von Zeit zu Zeit wird umgeschaltet, der Wind nimmt seinen Weg durch die inzwischen geheizte Kammer, während die erste auf's neue geheizt wird. Die Einrichtung beruht also auf denselben Vorgängen wie die aller Siemensfeuerungen (S. 142). Man nennt die Winderhitzer dieser Gruppe steinerne Winderhitzer.

Eiserne Winderhitzer gestatten auf die Dauer keine stärkere Erhitzung des Windes als auf 450° C., obschon man, solange die eisernen Röhren noch neu sind, Temperaturen von über 550° hervorbringen kann. Das Eisen verliert aber um so rascher an Wärmeleitungsfähigkeit und wird um so rascher in „Brandeisen“ (vergl. S. 275) umgewandelt, bekommt Risse und Sprünge, je stärker es erhitzt wird. In steinernen Winderhitzern dagegen lassen sich auch nach längerer Benutzung Windtemperaturen von 750—850° C. erzielen. In den meisten Fällen nun sinkt beim Hochofenschmelzen der Brennstoffverbrauch, wenn die Windtemperatur steigt, und für Darstellung gewisser Eisengattungen (Eisenmangan, Siliciumeisen) ist die Anwendung hoch erhitzten Windes überhaupt unentbehrlich. Daher sind die später erfundenen steinernen Winderhitzer jetzt weit häufiger als die eisernen in Anwendung. Ihre Anlagekosten sind zwar höher als die der eisernen, ihre Unterhaltungskosten dagegen geringer; da die Querschnitte der steinernen Winderhitzer bedeutend grösser sind als die der eisernen, und die Krümmungen, welche der Wind in ihnen zurückzulegen hat, geringer an Zahl, findet der Wind auch bei der Bewegung in den steinernen Winderhitzern geringere Widerstände, die Spannungsverluste sind unerheblicher, und die vom Gebläse verrichtete Arbeit wird günstiger ausgenutzt. Der Unterschied ist oft ziemlich bedeutend und spricht gleichfalls zu Gunsten der steinernen Winderhitzer.

Die eisernen Winderhitzer.

Bei den älteren, für kleinere Hochöfen bestimmten Vorrichtungen dieser Art pflegte man den gesammten zu erhitzenden Wind durch einen einzigen Röhrenstrang hindurchzuleiten, welcher, aus geraden Muffenröhren und Krümmlingen zusammengesetzt, in verschiedenen Windungen sich durch die Erhitzungskammer hindurchzog. Je grösser aber der Querschnitt eines solchen Rohres ist, desto ungünstiger ist das Verhältniss seiner wärmeaufnehmenden Aussenfläche zu dem Querschnitte, desto ungünstiger also auch die Ausnutzung der Wärme. In Rücksicht hierauf vertheilt man bei neueren Winderhitzern den Wind in eine Zahl einzelner Rohrstränge, welche von der Hauptwindleitung

abgezweigt und selbstständig durch den Heizraum hindurchgeführt werden, um später sich wieder in dem Hauptwindrohre für den heissen Wind zu vereinigen. Den Röhren innerhalb des Heizraumes aber giebt man oblongen Querschnitt und erzielt auch hierdurch eine Vergrösserung der Heizfläche gegenüber den Röhren mit kreisförmigen Querschnitten.

Da eine allzu beträchtliche Ausdehnung der Abmessungen des Winderhitzers benachtheiligend auf die Gleichmässigkeit der Erhitzung der einzelnen Röhren einwirken würde, ordnet man, sofern grössere Windmengen zu erhitzen sind, mehrere Winderhitzer an, deren jeder nur einen Theil des gesammten Windes zu erhitzen bestimmt ist. Sowohl in dem Eintritts- als Ausgangsrohre jedes Erhitzers werden Absperrvorrichtungen (Schieber, Klappen, Ventile) angebracht, so dass nöthigenfalls eine einzelne Heizkammer zur Vornahme von Ausbesserungen ausgeschaltet und kalt gelegt werden kann, ohne dass die übrigen in Mitleidenschaft gezogen zu werden brauchen.

Je grösser die Heizfläche eines Winderhitzers im Verhältnisse zu der Windmenge ist und je langsamer der Wind innerhalb der Röhren sich fortbewegt, d. h. je grösser der Gesammtquerschnitt der Röhren ist, desto weniger stark brauchen diese selbst erhitzt zu werden, um dem Winde eine bestimmte Temperatur zu verleihen, desto günstiger wird die entwickelte Wärme ausgenutzt, desto seltener werden Auswechselungen schadhaft gewordener Röhren erforderlich, und desto geringer ist die Gefahr, dass durch Undichtigkeiten Windverluste entstehen. Sehr verschieden ist indess bei den im Laufe der Zeit gebauten eisernen Winderhitzern sowohl jenes Verhältniss der Heizfläche zur Windmenge als auch die Geschwindigkeit des Windes in den Heizröhren. Räthlich ist es, nicht weniger als 2 qm Heizfläche für je 1 cbm Wind in der Minute und keine grössere mittlere Geschwindigkeit des Windes als 15 m in der Secunde anzunehmen.

Die auf einander folgenden geraden Röhren werden durch Krümmlinge (Rohrkrümmer) oder ähnliche Zwischenstücke mit einander verbunden. Man versieht den einen Theil der Röhren zu diesem Zwecke mit angegossenen Muffen, in welche die Enden der anderen Röhren hineintreten, und bewirkt die Verdichtung durch Rostkitt.[1]) Die Verbindungsstellen legt man so, dass sie von der Stichflamme nicht getroffen werden.

Bei der Anordnung der Röhren sucht man dem Gegenstromgesetze (Seite 58) nach Möglichkeit Rechnung zu tragen, indem man die Verbrennungsgase und den Wind in entgegengesetzter Richtung sich bewegen, d. h. den Wind da in die Kammer eintreten lässt, wo die Gase sie verlassen.

Als Material zu den Röhren dient Gusseisen oder in einzelnen Fällen gegossener Stahl. Man pflegt die Röhren mit Wandstärken von 15 bis 25 mm zu giessen. Auf ihre Haltbarkeit ist die Wahl des

1) Dargestellt durch Vermischen von 60 Thl. feingesiebten Eisenfeilspänen, 2 Thl. Salmiak, 1 Thl. Schwefelblumen und so viel Essig, dass das Ganze dickbreiige Beschaffenheit erhält. Der Kitt wird bald nach dem Mischen mit Hülfe eines Stabes in die Fuge getrieben und muss einige Tage erhärten, ehe das Anheizen beginnen kann.

Materials von Einfluss. Phosphorreiches Gusseisen neigt zum Zerspringen und ist deshalb zu verwerfen; ein mässiger Siliciumgehalt ist für Gusseisenröhren zwar nothwendig, um Graphitbildung zu veranlassen (weisses Eisen würde zu spröde sein), ein Ueberschuss aber ist nachtheilig. Ein von entbehrlichen Fremdkörpern thunlichst reines Eisen ist das geeignetste. Am haltbarsten pflegen sich Gusseisensorten für diesen Zweck zu erweisen, welche nicht über 0,5 v. H. Phosphor, 3 bis 3,5 v. H. Gesammtkohlenstoff, 0,7 bis 1,0 v. H. Silicium, 0,5 v. H. Mangan enthalten.

Von den zahlreichen Formen eiserner Winderhitzer, welche im Laufe der Zeit eingeführt wurden, sind nur noch wenige in Benutzung. Nach der Stellung der Heizröhren unterschied man liegende Winderhitzer, in welchen wagerecht liegende Röhren über einander angeordnet und durch Krümmer verbunden waren; stehende Winderhitzer mit senkrecht auf- und niedergehenden Röhren, und Winderhitzer mit hängenden Röhren, welche, an einem oberhalb der Heizkammer gelagerten Verbindungskrümmer befestigt, frei in die Heizkammer eingehängt waren. Letztere haben sich, sowohl hinsichtlich der Haltbarkeit als der Wärmeausnutzung, am wenigsten bewährt und sind deshalb nur vereinzelt in Anwendung gekommen.

Wo man überhaupt noch der eisernen Winderhitzer sich bedient, pflegt man solche mit stehenden Röhren zu wählen, welche sich bei zweckmässiger Anordnung durch Haltbarkeit auszeichnen. Es möge daher genügen, als Beispiel der eisernen Winderhitzer überhaupt einen solchen mit stehenden Röhren näher zu beschreiben. In Fig. 147 und 148 ist die jetzt übliche Einrichtung dieser Gattung von Winderhitzern dargestellt.[1]) Um den einzelnen Röhren eine grössere Haltbarkeit zu verleihen, hat man sie als Doppelröhren gegossen, d. h. man hat je ein breites Rohr durch eine eingegossene Scheidewand in zwei Abtheilungen zerlegt, in deren einer der Wind aufsteigt, um dann am Scheitel sich zu wenden und in der zweiten Abtheilung abwärts zu gehen. Zwei ausser dieser Scheidewand eingegossene Rippen dienen zur ferneren Versteifung der Rohrwände, ohne die Bewegung des Windes zu beeinflussen. In Rücksicht auf die bequemere Herstellung und zur Vermeidung von Spannungen im Gusse ist im Scheitel der Röhren eine mit aufstehendem Rande versehene Oeffnung gelassen, welche durch je zwei eingekittete Deckel verschlossen wird. Unten läuft jedes Rohr in zwei kurze Füsse aus; Fusskästen mit Muffen, vor der Stichflamme durch das Mauerwerk geschützt, stellen die Verbindung zwischen den auf einander folgenden Röhren dar, wie in Fig. 147 erkennbar ist.

Der von rechts kommende kalte Wind wird vor dem Eintreten in die Heizkammer, wie bei allen eisernen Winderhitzern, in mehrere, und zwar im vorliegenden Falle drei, parallele Rohrstränge vertheilt (Fig. 148). Links vereinigt sich der aus der Heizkammer kommende Wind wieder in einem gemeinschaftlichen Heisswindrohre. Das Hochofengas tritt von links in die unterhalb des Heizraumes befindliche Verbrennungskammer. Ein unterhalb der Eintrittsstelle angebrachter Rost

1) Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preussen, Band 30, Texttafel f.

dient zur Unterhaltung eines schwachen Feuers aus Brennstoffabfällen, um bei etwa stattgehabter Unterbrechung des Gasstroms die sofortige

Fig. 147.

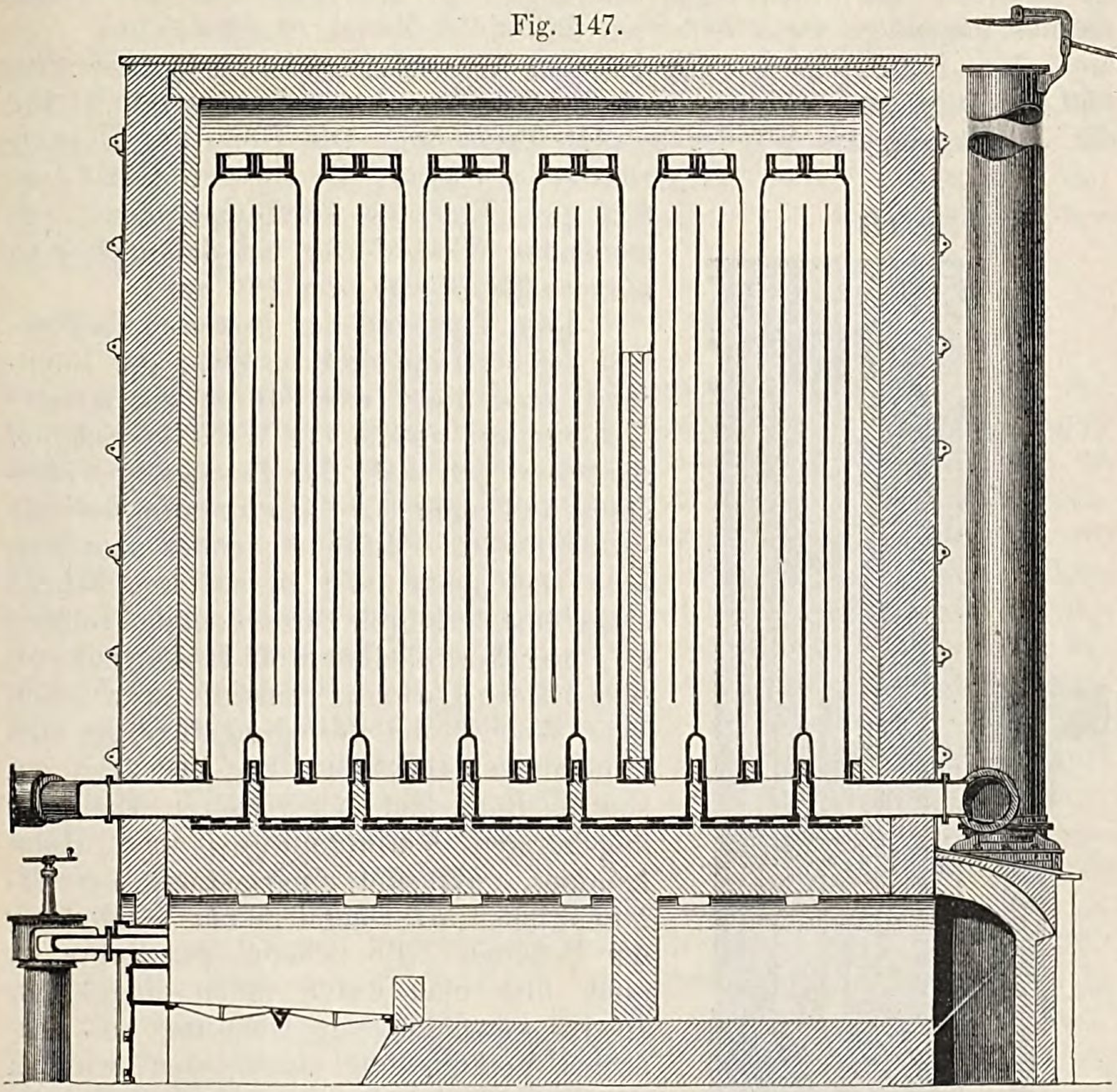
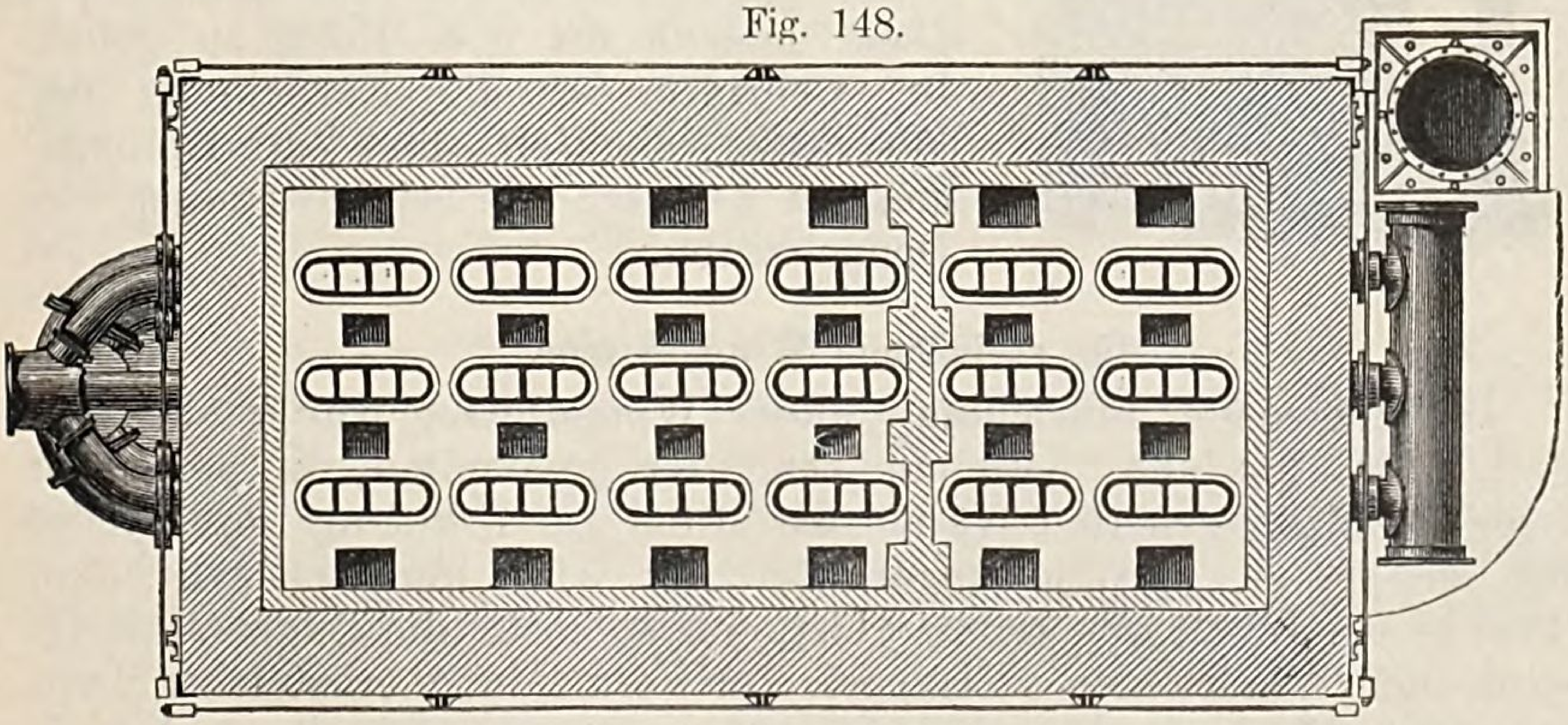


Fig. 148.

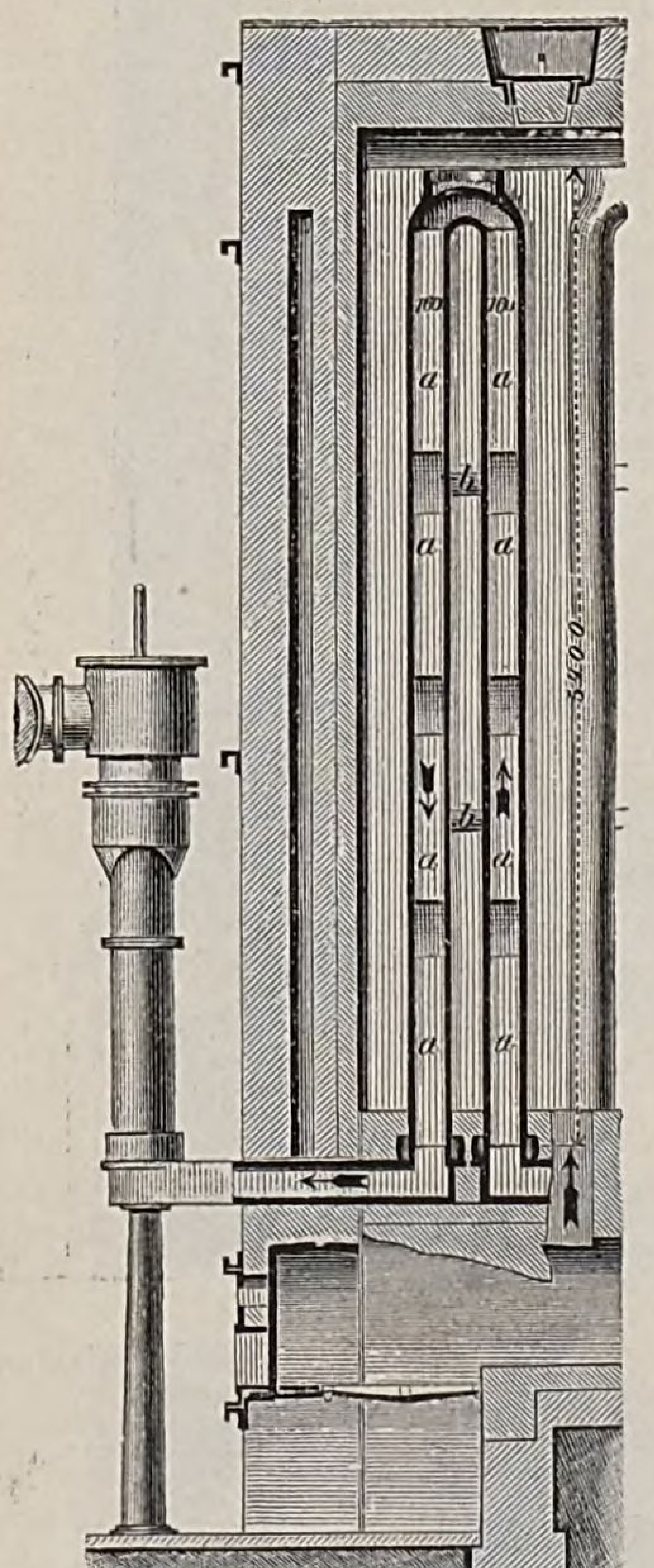


Entzündung des wieder zutretenden Gases zu sichern (Seite 446). Durch 16 Oeffnungen in der gewölbten Decke der Verbrennungskammer gelangt das Gas in die Heizkammer, welche durch eine Scheidewand in

eine vordere längere und eine kürzere hintere Abtheilung zerlegt ist. In der vorderen Abtheilung steigt das Gas empor, in der zweiten fällt es abwärts, um durch acht Oeffnungen in den unterhalb des Heizraumes liegenden, nach der Esse führenden Kanal zu entweichen.

Jede Rohrhälfte des abgebildeten Winderhitzers ist im Querschnitte 650 mm lang und 240 mm breit im Lichten; der freie Querschnitt für den Durchgang des Windes beträgt 0,1436 qm. Die Höhe der Doppelröhren ist 5,65 m, die äussere Heizfläche 8,89 qm. Ein aus 18 Doppelröhren bestehender Winderhitzer hat demnach eine äussere Heizfläche von 160 qm.

Fig. 149.



Dem Vortheile der grösseren Haltbarkeit solcher Doppelröhren steht der Nachtheil gegenüber, dass durch die scharfe Krümmung, welche der Wind im Scheitel zurückzulegen hat, der Bewegungswiderstand und somit der Spannungsverlust vergrössert wird. Mitunter wendet man deshalb statt jener, erst in späteren Jahren eingeführten Röhren zweischenklige Röhren an, ihrer Form halber wohl Hosenröhren oder Siphonröhren genannt, in welchen jener Wechsel der Bewegungsrichtung sich allmählicher vollzieht. Fig. 149 zeigt ein solches Rohr und den vorderen Theil der zugehörigen Verbrennungs- und Heizkammer. *a a* sind eingegossene Verstärkungsrippen, *b b* Querstege zur Versteifung der Schenkel. Im Scheitel des Rohrs ist auch hier eine durch einen eingelegten Deckel verschliessbare Oeffnung aus derselben Veranlassung eingegossen, wie bei den Doppelröhren in Fig. 147. Den Röhren pflegt man 5 bis 6 m Höhe zu geben. Im Uebrigen ist die Einrichtung der Fusskästen, der Heiz- und Verbrennungskammer ganz so, wie bei Anwendung von Doppelröhren.

Die steinernen Winderhitzer.

Die allgemeine Einrichtung dieser Winderhitzer wurde oben erläutert. Der Umstand, dass ein Theil der gesammten, in einer der Kammern aufgespeicherten Wärme das Mittel zur Erhitzung des Windes bildet, erklärt es, dass, je längere Zeit der Wind hindurch geht, und je kleiner der Inhalt der Kammer ist, um so mehr die Temperatur des austretenden Windes sich verringert; zur Vermeidung erheblicher Temperaturschwankungen muss deshalb um so öfter gewechselt werden, je kleiner die Winderhitzer sind.

Unter der Voraussetzung, dass die inneren Theile der Kammer gleich stark erhitzt wären, liesse sich die Abkühlung berechnen, welche

der Wind innerhalb eines gewissen Zeitraumes erfährt. So z. B. enthielt nach Gruner[1]) ein derartiger Winderhitzer, welcher dazu bestimmt war, 180 cbm Luft in der Minute oder 10 800 cbm = 13 390 kg Luft in der Stunde zu erhitzen, 134 cbm = 241 000 kg feuerfeste Ziegeln. Soll der Wind auf 800° Celsius erwärmt werden, so sind dafür, sofern man die specifische Wärme der gewöhnlichen, etwas feuchten Luft = 0,239 annimmt, 13 390 × 800 × 0,239 = 2 557 490 W.-E. erforderlich, welche von den Ziegeln abgegeben werden müssen. Bei einer specifischen Wärme der heissen Ziegeln = 0,23 würde mithin ihre Abkühlung sein:

$$\frac{2\,557\,490}{214\,000 \times 0{,}23} = 46 \text{ Grade.}$$

In Wirklichkeit jedoch ist der Vorgang etwas anders. An der Stelle, wo die Gase eintreten und verbrennen, werden die Ziegeln stärker erhitzt als da, wo die Gase den Winderhitzer verlassen; den zu erhitzenden Wind aber führt man in allen Fällen, dem Gegenstromgesetze gemäss, an der am wenigsten heissen Stelle ein, also da, wo die Gase austreten, und lässt ihn den entgegengesetzten Weg als diese nehmen. An der Eintrittsstelle des Windes sind demnach die Ziegeln von vornherein weniger heiss, und durch den kalten Wind werden sie stärker abgekühlt, als an dem entgegengesetzten Ende, wo sie nur mit dem schon hoch erhitzten Winde in Berührung kommen.

Es ist jedoch auch leicht zu ermessen, dass für die Leistung eines steinernen Winderhitzers nicht allein der räumliche Inhalt der in ihm angeordneten, als Wärmesammler dienenden feuerfesten Ziegeln maassgebend ist, sondern dass auch, wie bei allen Siemensfeuerungen, die von den Ziegeln dargebotene Oberfläche eine Rolle spielt. An der Oberfläche der Ziegeln findet die stärkste Erhitzung statt, und je weiter irgend eine Stelle davon entfernt ist, desto weniger hoch wird sie erhitzt, desto langsamer giebt sie ihre Wärme ab. Die zur Erhitzung einer bestimmten Windmenge erforderliche Heizfläche muss bei den steinernen Winderhitzern schon deshalb beträchtlicher ausfallen als bei eisernen, weil ja nur die Hälfte der gesammten Heizfläche innerhalb eines und desselben Zeitraumes zur Wärmeabgabe benutzt werden kann und die andere Hälfte inzwischen erhitzt wird. Man giebt daher für 1 cbm Wind in der Minute den zusammengehörigen Winderhitzern eine Gesammtheizfläche von mindestens 15 qm, häufiger 20 qm und darüber.[2])

Die Geschwindigkeit des durch den Heizraum hindurchgehenden Windes ist in allen Fällen erheblich geringer als bei den eisernen Winderhitzern. Man ist bei Bemessung des Querschnitts weniger als dort durch bauliche Rücksichten beschränkt; die langsamere Bewegung des Windes begünstigt die Wärmeabgabe und verringert die Reibungswiderstände. Bei den meisten steinernen Winderhitzern beträgt die

1) Gruner-Kupelwieser, Abhandlungen über Metallurgie, Band I, Seite 411.

2) „Stahl und Eisen" 1883, Seite 242 (Steffen). In der hier angezogenen Abhandlung ist auch der Versuch gemacht, die erforderliche Heizfläche theoretisch zu berechnen; ebenso in H. Wedding, Zweiter Ergänzungsband zur Eisenhüttenkunde, Braunschweig 1887, Seite 233.

Geschwindigkeit des kalten Windes 1,5 bis höchstens 2 m in der Secunde, des erhitzten Windes 5 bis 8 m.

Sämmtliche steinerne Winderhitzer sind äusserlich durch einen luftdicht genieteten cylindrischen Mantel aus Eisenblech umgeben, ohne welchen es nicht möglich sein würde, beträchtliche Windverluste zu vermeiden. Zwischen Mantel und Steinfüllung bleibt ein Zwischenraum von 40 bis 50 mm Breite, um der Ausdehnung der Steine Raum zu geben. Da sich in den Zügen Staub ablagert, welcher von den Gichtgasen mitgeführt wurde, sind Vorrichtungen unentbehrlich, durch welche von Zeit zu Zeit eine Reinigung vorgenommen werden kann; im Uebrigen ist gerade bei den steinernen Winderhitzern die Benutzung möglichst staubarmer Gase wünschenswerth, und verschiedene der in der Neuzeit eingeführten Verbesserungen der Gasreiniger sind durch das Bestreben veranlasst worden, die Gichtgase für die Heizung der steinernen Winderhitzer benutzbar zu machen.

Aus der Wirkungsweise der steinernen Winderhitzer folgt, dass in jedem Falle mindestens zwei Winderhitzer erforderlich sind, welche zur Erhitzung des auch für einen grossen Hochofen erforderlichen Windes ausreichen können, sofern ihre Grösse mit der Menge des Windes im Einklange steht. Thatsächlich hat man auf manchen Werken zwei Winderhitzer für einen Ofen genügend befunden. Immerhin aber ist bei der Anlage auf den schon erwähnten Umstand Rücksicht zu nehmen, dass nicht allein von Zeit zu Zeit Ausbesserungen erforderlich werden können, sondern dass auch innerhalb gewisser Zeiträume eine Reinigung von angesetztem Gichtstaube nothwendig wird, für welche die Winderhitzer gewöhnlich einige Tage hindurch der Benutzung entzogen werden müssen. Die Erfahrung hat ferner gelehrt, dass es zur Ersparung an Brennstoff und zur Erzielung einer gleichmässigen Erhitzung des Windes zweckmässig ist, eine grössere Heizfläche zur Wärmeaufnahme als zur Wärmeabgabe zu benutzen. Häufiger ordnet man daher für einen Hochofen drei, auch wohl vier Winderhitzer an, von welchen zwei oder drei im Feuer und einer unter Wind stehen; bei grösserem Windbedarfe (für zwei Hochöfen) fünf bis sieben, von denen drei bis fünf geheizt werden, während zwei die Wärme abgeben.

Die ersten Versuche, steinerne Winderhitzer für den Hochofenbetrieb anzuwenden, wurden im Jahre 1860 durch Cowper auf der Ormesbyhütte in Cleveland gemacht. Die Cowper-Winderhitzer der ersten Jahre litten jedoch an verschiedenen erheblichen Mängeln. Die zur Aufnahme der Wärme bestimmten Ziegeln waren in gleicher Weise wie in den Wärmespeichern der Siemensschen Oefen angeordnet; eine Reinigung von aussen war unmöglich, und die sämmtlichen Steine mussten bei den Reinigungen aus dem Heizraume entfernt werden. Diese Reinigungen aber waren in der damaligen Zeit weit häufiger erforderlich als jetzt, wo die Gase, bevor sie zum Winderhitzer gelangen, einer sorgfältigern Reinigung unterworfen werden. Die an den verschiedenen Zu- und Ausgangsrohren angebrachten, ziemlich mangelhaft eingerichteten Schieber oder Ventile aber wurden infolge der starken Erhitzung und der Ablagerung von Gichtstaub bald undicht und versagten den Dienst. So kam es, dass man, wenigstens auf dem Fest-

lande, mehrere Jahre hindurch die bereits eingeführten Cowper-Winderhitzer wieder kalt legte und zu den eisernen Winderhitzern zurückkehrte.

Erst um das Jahr 1870 waren die Hauptschwierigkeiten überwunden, theils durch Cowper selbst, theils durch Thomas Whitwell in Stockton on Tees, welcher sich neben Cowper anerkennungswerthe Verdienste um die Vervollkommnung der steinernen Winderhitzer und ihre Einführung beim Hochofenbetriebe erworben hat. Seit jener Zeit haben die steinernen Winderhitzer eine von Jahr zu Jahr zunehmende Bedeutung erlangt und, wie schon erwähnt, die bis dahin allein angewendeten eisernen Winderhitzer allmählich zum grössten Theile verdrängt.

Alle wichtigeren, in der Jetztzeit angewendeten steinernen Winderhitzer lassen sich ihrer Einrichtung gemäss theils auf die von Whitwell, theils auf die von Cowper eingeführten Formen zurückführen. Erstere mögen zunächst beschrieben werden, weil sie früher als die Cowper-Winderhitzer allgemeinere Benutzung fanden und in der That bahnbrechend für die Einführung des neueren Verfahrens der Winderhitzung gewesen sind.

Die Whitwell-Winderhitzer und ihre Abarten.

Die ersten Whitwell-Winderhitzer wurden 1869 gebaut; auf dem Festlande fanden sie vorzugsweise seit 1873 Eingang, nachdem die Weltausstellung zu Wien Gelegenheit geboten hatte, die Bekanntschaft mit ihrer Einrichtung und mit den erlangten Betriebsergebnissen in weiteren Kreisen zu verbreiten.

Einer der älteren Whitwell-Apparate, welche bis zum Jahre 1876 in ziemlich grosser Zahl gebaut wurden und noch heute hier und da in Benutzung sind, ist in Fig. 150 und 151 in $^1/_{150}$ der wirklichen Grösse abgebildet. Die zum Heizen bestimmten Gase treten aus dem Kanale *B* durch das Ventil *C* in den Heizraum und werden hier durch angesaugte Luft verbrannt, welche durch die verschliessbare Oeffnung *i* (Fig. 151) zunächst in Kanäle innerhalb des Mauerwerks gelangt, um hier vorgewärmt zu werden, und dann erst durch wagerechte, zum grössern Theile in der ersten Scheidewand angebrachte Oeffnungen in den Heizraum eintritt.

Durch die Scheidewände *a a* . . , welche abwechselnd oben und unten mit Durchgangsöffnungen versehen sind, werden nun die Gase gezwungen, fünf Mal aufwärts und ebenso oft abwärts zu ziehen, um schliesslich durch das Ventil *D* nach dem Essenkanale *E* zu entweichen. Drei parallele Querwände *b b* dienen theils zur Versteifung der Wände *a a*, theils auch zur Vergrösserung der Heizfläche. Durch Oeffnungen in diesen Querwänden, welche in Fig. 150 sichtbar sind, stehen die einzelnen Abtheilungen mit einander in Verbindung.

Nach erfolgter Erhitzung des Winderhitzers werden die Gasventile geschlossen und der kalte Wind durch das an das Ventilgehäuse *D* angeschlossene, mit Schieber versehene, wagerechte Rohr zugeleitet. Nachdem er in entgegengesetzter Richtung als zuvor die Gase den Heizraum durchströmt hat, tritt er durch das Ventil *F* aus, um dem Hochofen zugeführt zu werden.

Die Reinigung von angesetztem Staube geschieht durch die in der Decke angebrachten Verschlüsse *e e*, und zwar von aussen her, da jeder einzelne Kanal von aussen zugänglich ist; der von den Wänden abgekehrte Staub sammelt sich am Boden und wird von hier durch die

Fig. 150.

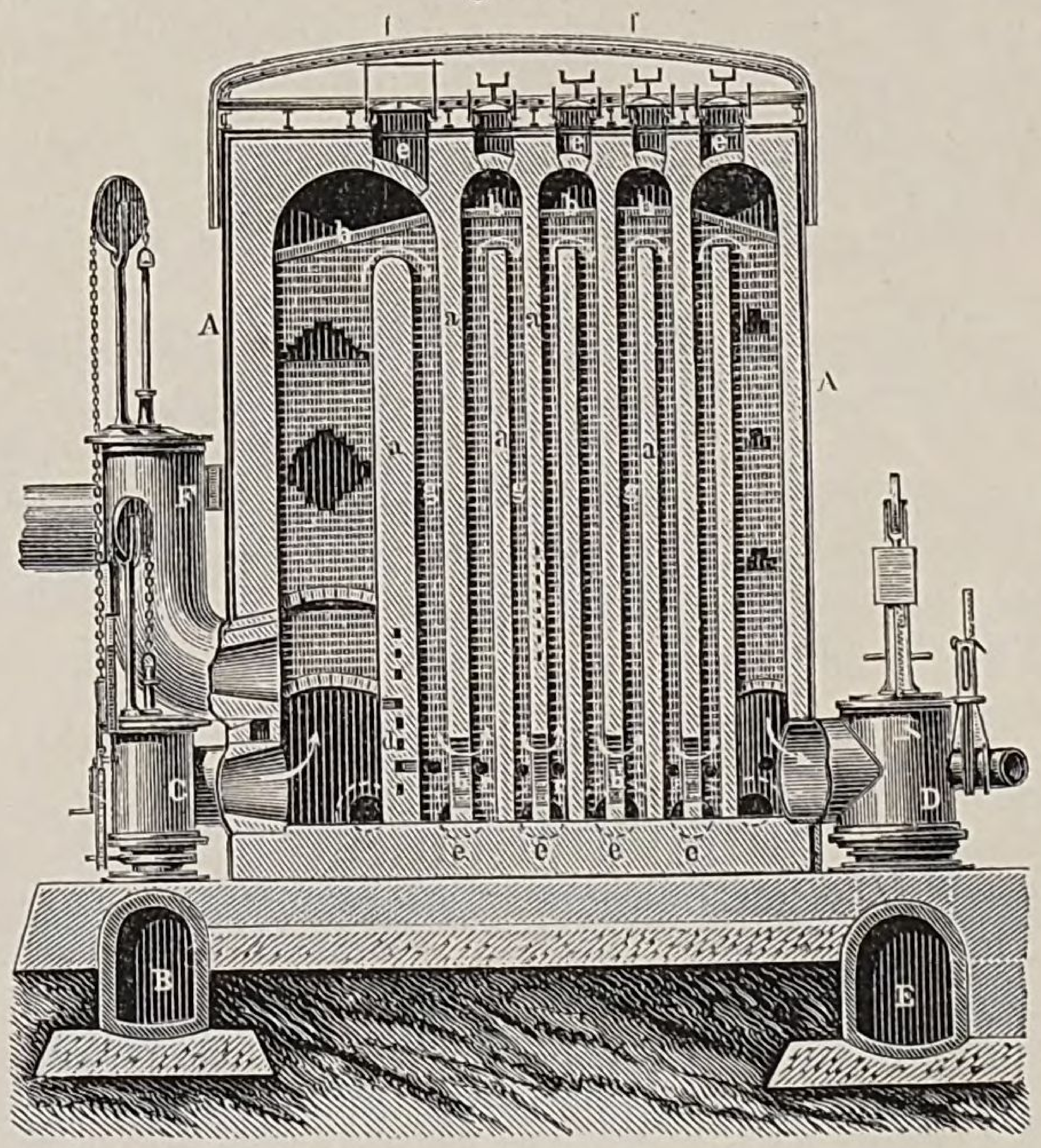
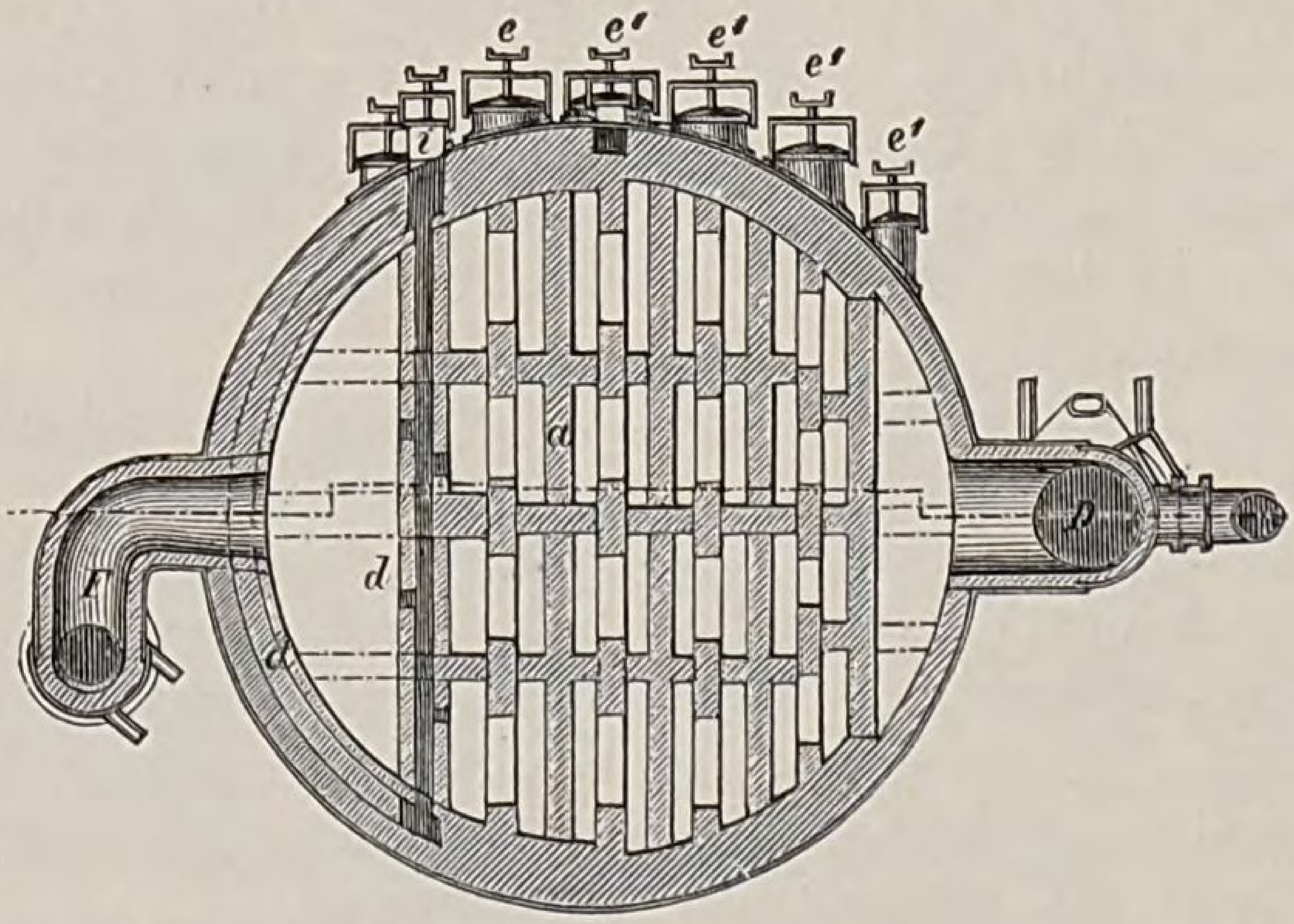


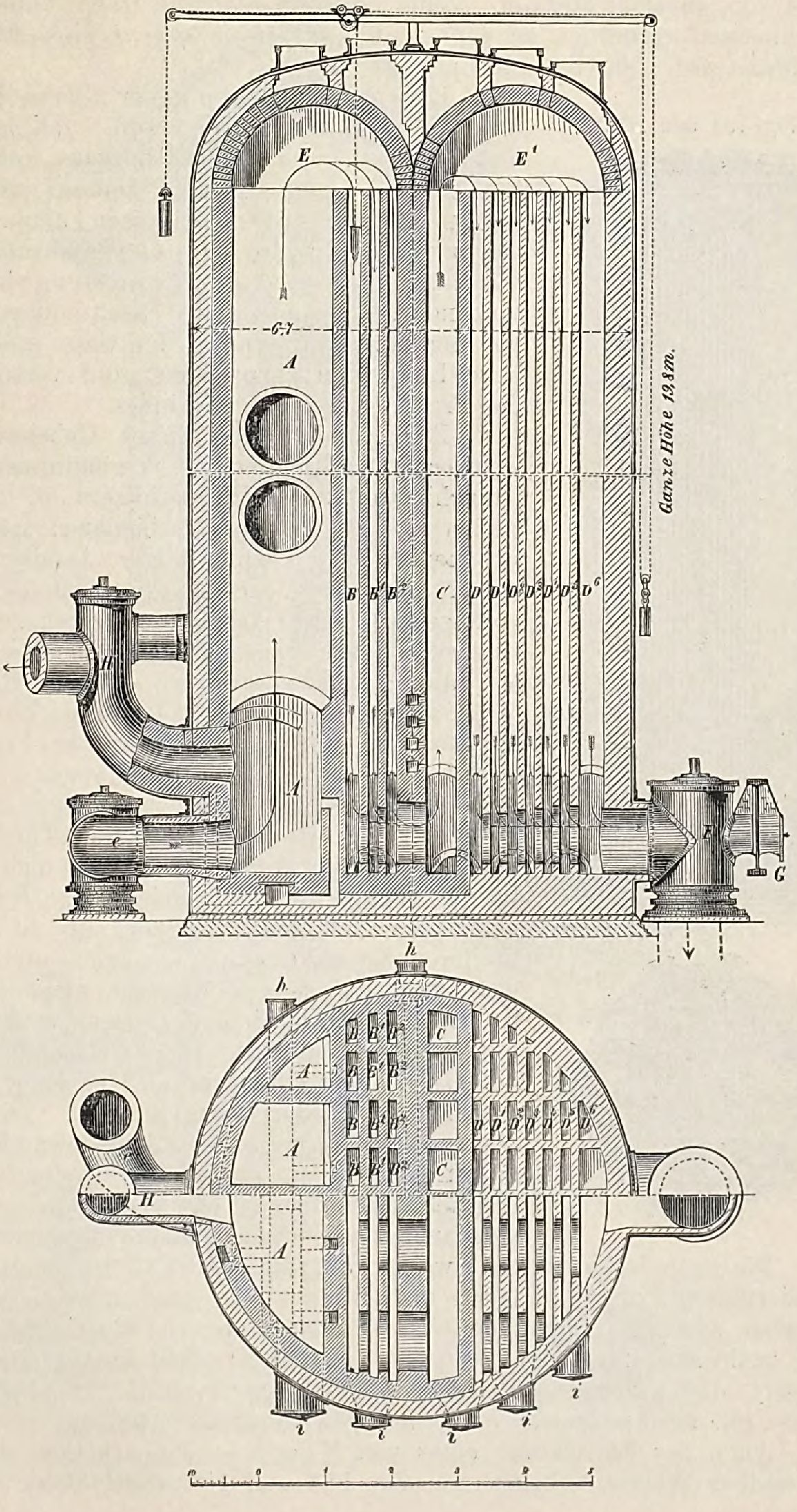
Fig. 151.



Verschlüsse e_1 e_1 (Fig. 151) entfernt. Auf diese Weise ist die Reinigung möglich, ohne dass der Winderhitzer zuvor kalt gelegt zu werden braucht.

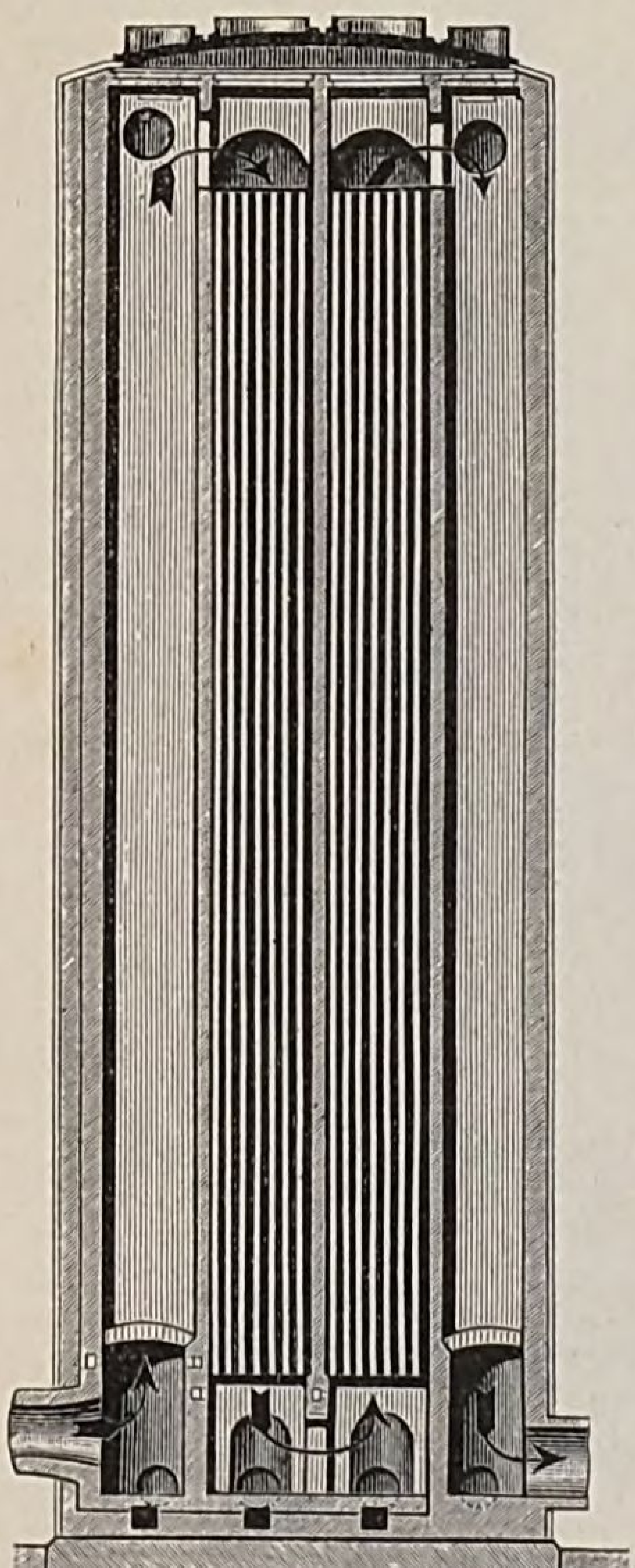
W h i t w e l l-Winderhitzern der abgebildeten Art pflegte man bis gegen die Mitte der siebziger Jahre 6,7 m äusseren Durchmesser bei

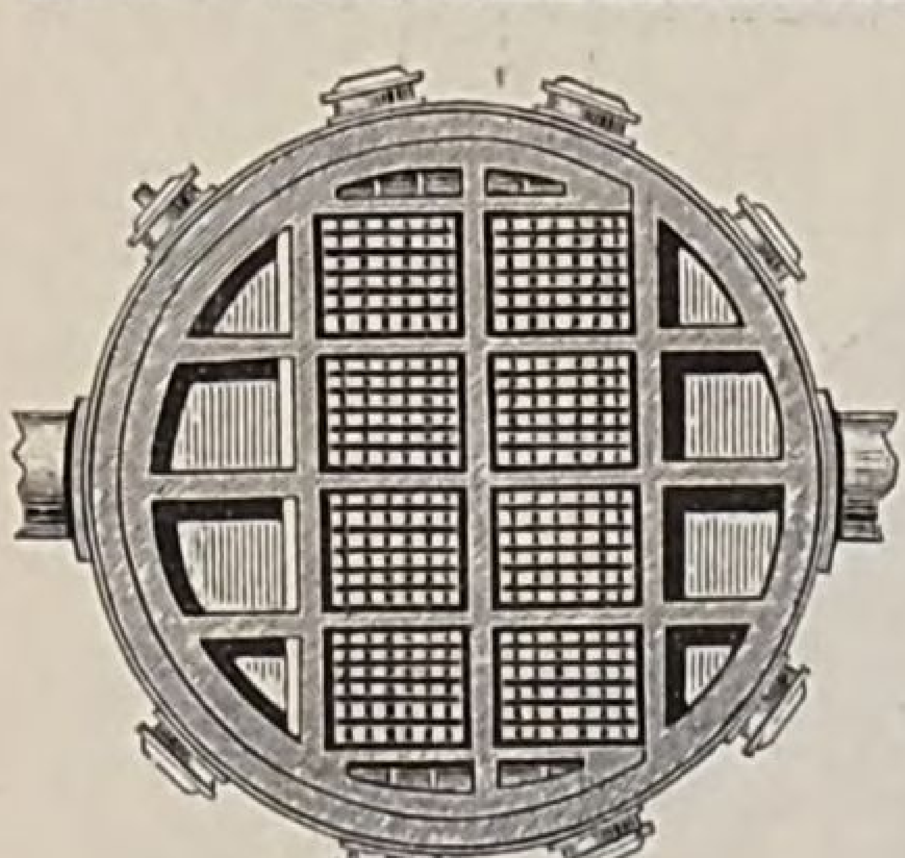
Fig. 152 und 153.



8 bis 9 m Höhe zu geben. Ein solcher Winderhitzer besitzt eine Heizfläche von ungefähr 800 qm. Später steigerte man die Höhe, ohne den Durchmesser wesentlich zu ändern, bis auf 18 m und vergrösserte die Heizfläche auf 1500 bis 1600 qm.

Fig. 154 und 155.





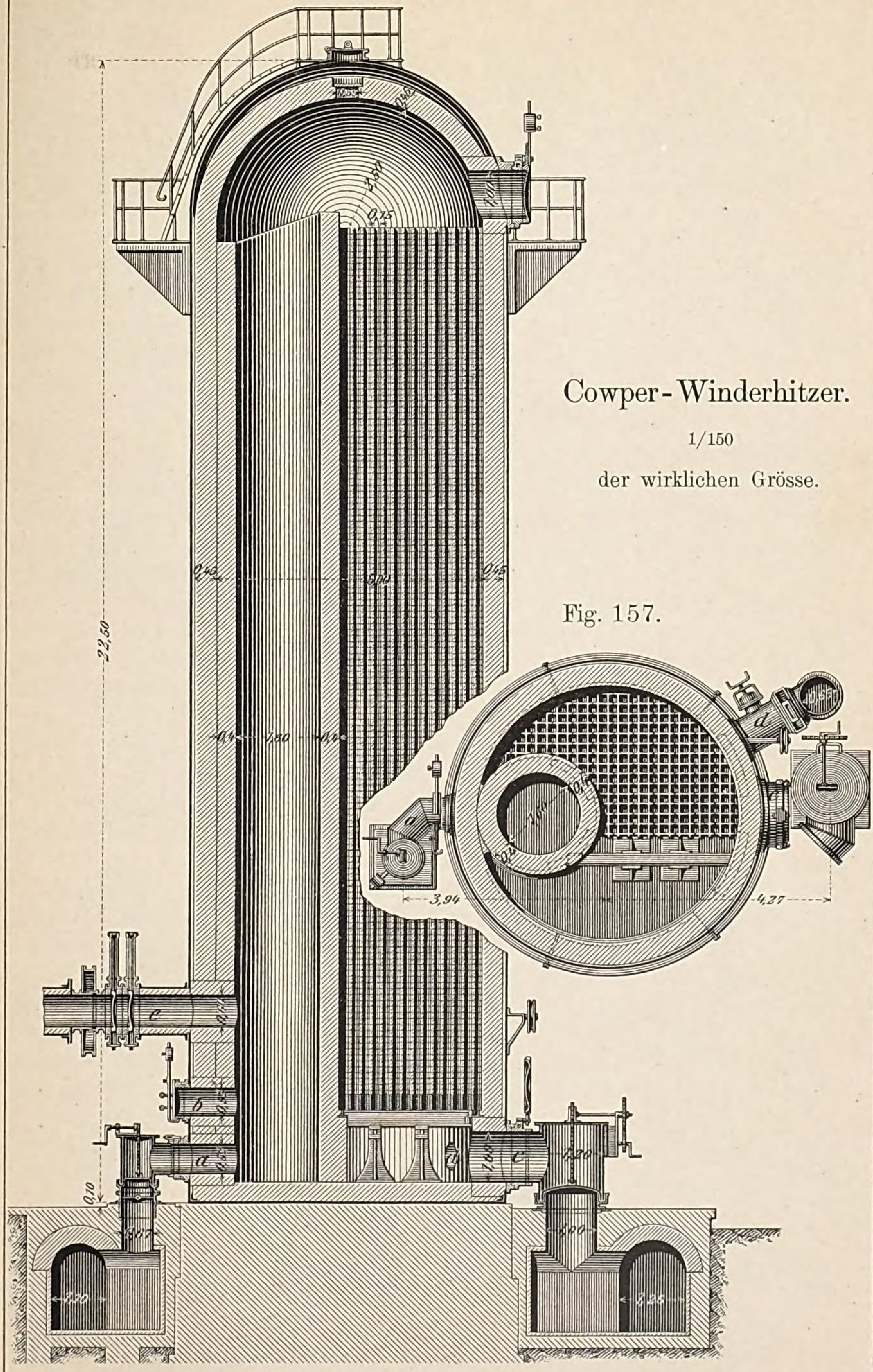
Eine schwache Seite dieser älteren Whitwell-Winderhitzer bilden die zahlreichen Krümmungen, welche die Heizgase und der Gebläsewind innerhalb der Kammer zurückzulegen haben. Sie erschweren deren Bewegung, machen also, wie die Erfahrung genugsam gelehrt hat, die Anwendung kräftig saugender, hoher und weiter Essen nothwendig, um die zur Verbrennung der Gase erforderliche Luftmenge anzusaugen, und verringern die Pressung des Gebläsewindes.

Zur Abminderung dieses Uebelstandes, welcher unter ungünstigen Verhältnissen die Brauchbarkeit des Winderhitzers in Frage stellen kann, sind von verschiedenen späteren Erbauern solcher Winderhitzer Aenderungen eingeführt worden, welche sämmtlich das Ziel verfolgen, die Zahl der Krümmungen zu verringern, zugleich aber die Heizfläche so viel als thunlich zu vergrössern. So z. B. gab William Whitwell (nach dem Tode Thomas Whitwells) den Apparaten die in Fig. 152 und 153 abgebildete Form. Die aus *e* kommenden Gase steigen zunächst in dem weiten Kanale *A* auf, in dessen unterem Theile sie mit Luft gemischt werden, vertheilen sich dann in die drei abwärts führenden Züge $B\,B_1\,B_2$, vereinigen sich unten wieder, um in dem breiteren Kanale *C* emporzusteigen, und wenden sich oben wiederum abwärts, um in sieben Zügen $D\,D_1$. . . nach dem Ausgangsventile *F* hingeführt zu werden. Die Gebläseluft tritt bei *G* ein und entweicht an der gegenüberliegenden Seite durch das Rohr *H*. Zugleich wurde die Wandstärke der Scheidewände von 0,22 m auf 0,13 m vermindert, wodurch eine Vermehrung ihrer Zahl ohne Vergrösserung des Durchmessers des Winderhitzers möglich wurde.

Die neun Krümmungen, welche die Gase und Luft in den älteren Winderhitzern zu überwinden hatten, sind in diesem verbesserten Apparate auf drei vermindert; die Heizfläche aber ist durch Einschaltung zahlreicherer Querwände (sieben statt drei) nicht unerheblich vergrössert und beträgt bei einem Winderhitzer von der abgebildeten Grösse (6,7 m Durchmesser, 19,8 m Höhe) ungefähr 2400 qm.

Auch der Einrichtung eines von Macco in den achtziger Jahren auf einigen Werken erbauten, in Fig. 154 und 155 abgebildeten Wind-

Fig. 156.



Cowper-Winderhitzer.

1/150

der wirklichen Grösse.

Fig. 157.

Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

erhitzers[1]) liegt das Bestreben zu Grunde, den Weg der Gase abzukürzen und trotzdem die Heizfläche zu vergrössern. Die Gase gehen nur zweimal auf- und zweimal abwärts; die beiden mittleren Abtheilungen aber sind, ähnlich wie bei den unten besprochenen Cowper-Winderhitzern, derartig mit Steinen in Verband ausgesetzt, dass zahlreiche senkrechte Kanäle von nur ungefähr 150 bis 200 mm Weite (im Geviert) entstehen, welche den hindurchziehenden Gasen und dem Winde eine beträchtliche Berührungsfläche darbieten. Die Verbrennungsluft wird durch Kanäle, welche in Fig. 154 erkennbar sind, im Boden und in der Wand des Verbrennungsraumes hindurchgeführt, um vorgewärmt zu werden. Für die Entfernung des von oben her niedergestossenen Staubes sind am Boden ebensolche Oeffnungen wie bei den früher besprochenen Whitwell-Winderhitzern angebracht.[2])

Die Cowper-Winderhitzer und ihre Abarten.

Von den Whitwell-Winderhitzern unterscheiden sich die nach Cowpers Erfindung gebauten vornehmlich dadurch, dass in ihnen die Gase und der Wind sich nur einmal auf- und einmal abwärts bewegen. Die Verbrennung der Gase findet in einem schachtartigen Kanale statt, in welchem sie aufsteigen; alsdann vertheilen sie sich in zahlreiche (600 bis 900) Kanäle von verhältnissmässig engem Querschnitte, um in ihnen abwärts zu strömen und dann den Winderhitzer zu verlassen. Der Wind nimmt, nachdem Umschaltung stattgefunden hat, den entgegengesetzten Weg.

Bei den seit 1870 eingeführten Cowper-Apparaten liegt der erwähnte Verbrennungsschacht an der einen Seite des innern Raumes; bei den älteren Winderhitzern war er in der Mitte angeordnet. Wenn man neuerdings bei einzelnen Anlagen jene frühere Anordnung des Verbrennungsschachts in der Mitte wieder in Anwendung gebracht hat, so bilden diese Fälle doch Ausnahmen.[3])

Ein im Jahre 1889 erbauter Cowper-Winderhitzer, dessen Einrichtung mit der noch heute auf vielen Werken üblichen übereinstimmt, ist in Fig. 156 und 157 abgebildet. *a* ist das Zulassrohr für das Gas, *b* eine Oeffnung für den Zutritt der Verbrennungsluft. Vorwärmung der letzteren findet bei dem abgebildeten, wie überhaupt bei den älteren Winderhitzern nicht statt. Innerhalb des 1600 mm weiten, etwa 19 m hohen Schachtes vollzieht sich die Verbrennung. Die Verbrennungsgase ziehen durch die erwähnten, in den Abbildungen erkennbaren Kanäle abwärts, um durch das Rohr *c* nach der Esse zu entweichen. Der kalte Wind tritt durch *d* (Fig. 157) ein, der erhitzte Wind bei *e*

1) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1886, Seite 524. Ueber eine spätere Anordnung der Maccoschen Winderhitzer vergleiche dieselbe Zeitschrift 1888, Seite 183.

2) Sonstige Formen von Whitwell-Winderhitzern: „Stahl und Eisen“ 1883, Maiheft Blatt 1; Berg- und Hüttenmännische Zeitung 1878, Seite 195 (Lévêques Winderhitzer).

3) Solche Abarten der Cowper-Winderhitzer mit Verbrennungsschacht in der Mitte sind z. B. die von Massicks und Crooke auf einigen englischen und amerikanischen Eisenwerken eingeführten Winderhitzer („Stahl und Eisen“ 1883, Seite 28; 1892, Seite 569); ferner die von Kennedy auf amerikanischen Werken, z. B. in Duquesne bei Pittsburg, erbauten („Stahl und Eisen“ 1897, Seite 356).

aus. Die Ziegeln, welche die Kanäle bilden, ruhen auf Gusseisengittern, welche von gusseisernen Füssen getragen werden. Fig. 157 zeigt theils die Gitter, theils die Füsse von oben. Die Kanäle des abgebildeten Winderhitzers sind 150 mm im Geviert weit bei 55 mm Wandstärke; in anderen Fällen findet man Durchmesser von nur 120 mm und Wandstärken bis 70 mm.

Zur Ermöglichung der Reinigung sind in der Haube die in Fig. 156 sichtbaren Mannlochverschlüsse angebracht. Der Winderhitzer wird kalt gelegt, nach Verlauf von etwa drei Tagen steigt ein Arbeiter hinein und reinigt mit Hülfe desselben Verfahrens, welches der Essenkehrer zum Reinigen sogenannter russischer Röhren anwendet (d. h. mit Benutzung einer eisernen, an einer Kette hängenden Kugel, an welcher eine Drahtbürste befestigt ist), die einzelnen Kanäle. Der niedergefallene Staub wird alsdann entweder durch besondere für diesen Zweck am Boden angebrachte Oeffnungen, wie bei den Whitwell-Apparaten, oder durch die Oeffnung bei *c* entfernt, nachdem man das anschliessende Gasabzugsrohr in der später zu beschreibenden Art und Weise abgelöst und die Oeffnung dadurch frei gemacht hat. Um jedoch ein allzu häufiges Kaltlegen der Winderhitzer zu vermeiden, entfernt man auf manchen Werken von Zeit zu Zeit die grössere Menge des abgelagerten Staubes durch eine Verpuffung von Schiesspulver (Ausschiessen mit Böllern) oder Ausblasen mit Gebläsewind bei geöffneter Kuppel. Bilden gut gereinigte oder von Natur staubarme Gase den Heizstoff, so lassen sich die Cowper-Winderhitzer nicht selten mehrere Jahre hindurch betreiben, bevor die beschriebene gründliche Reinigung durch Bürsten erforderlich wird.

Der abgebildete Winderhitzer besitzt eine Heizfläche von ungefähr 2000 qm. Um die Heizfläche zu vergrössern, giebt man neueren Winderhitzern nicht selten eine noch beträchtlichere Höhe, und zwar bis 30 m. Eine Vergrösserung des Durchmessers über das seit Jahrzehnten übliche Maass von 6 bis 7 m äusserlich würde dagegen nur die Anlagekosten erhöhen, ohne wesentlichen Nutzen zu bringen, denn die Schwierigkeit, die Gase und den Wind möglichst gleichmässig innerhalb des gesammten Querschnitts zu vertheilen, wächst mit dem Durchmesser.

Bei dem abgebildeten Winderhitzer haben die Züge quadratischen Querschnitt und werden durch hochkantig stehende, im Verband zusammengestellte Ziegeln von der gewöhnlichen Form gebildet. Diese Anordnung ist sehr gebräuchlich; nicht selten jedoch giebt man den Zügen auch sechseckigen oder kreisrunden Querschnitt. Fig. 158 und 159 zeigen übliche Steinformen für diese Fälle.[1]) Man beabsichtigt hierdurch, die Reinigung zu erleichtern, da in Zügen von quadratischem Querschnitte sich vorwiegend in den Ecken Staub ansetzt, welcher hier schwieriger zu entfernen ist.

Zur Ersparung von Heizgas und nöthigenfalls zur Erzielung höherer Verbrennungstemperaturen wärmt man bei neueren Cowper-Winderhitzern nicht selten die Verbrennungsluft vor, wie es bei den Whit-

1) Ueber sonstige Steinformen vergleiche die unter Litteratur genannten Abhandlungen Lürmanns, Maccos, Kosmanns.

well-Winderhitzern schon von Anfang an üblich war. Die Abbildungen Fig. 160 und 161 zeigen einen Winderhitzer dieser Art.[1]) Das Gas tritt, wie gewöhnlich, unten bei *a* ein und gelangt durch sechs Schlitze (in Fig. 161 erkennbar) in den etwas höher liegenden Verbrennungsraum. Die Luft wird durch zwei verschliessbare Oeffnungen *bb* (Fig. 161) angesaugt, zieht in Kanälen in der Vorderwand des Verbrennungsschachts aufwärts, in der Rückwand abwärts und gelangt durch sieben Schlitze unmittelbar oberhalb der Gasschlitze, aber zwischen diesen angeordnet, in den Schacht. *d* ist eine Oeffnung (ein Mannloch), durch welche der Schacht von aussen her zugänglich ist; in dem Deckel der Oeffnung befindet sich ein Schauloch, durch welches sich die Verbrennung beobachten lässt. Von einer mit Treppe versehenen Bühne aus sind die Oeffnungen *b* und *d* zugänglich. Das Gas entweicht bei *e*; in Fig. 161 ist die Oeffnung geschlossen, das zur Esse führende Rohr zur Seite gedreht, und der Apparat dient in dieser Stellung zum Erhitzen des Windes. Dieser tritt bei *f* (Fig. 161) ein und bei *g* (Fig. 160) aus.

Fig. 158.

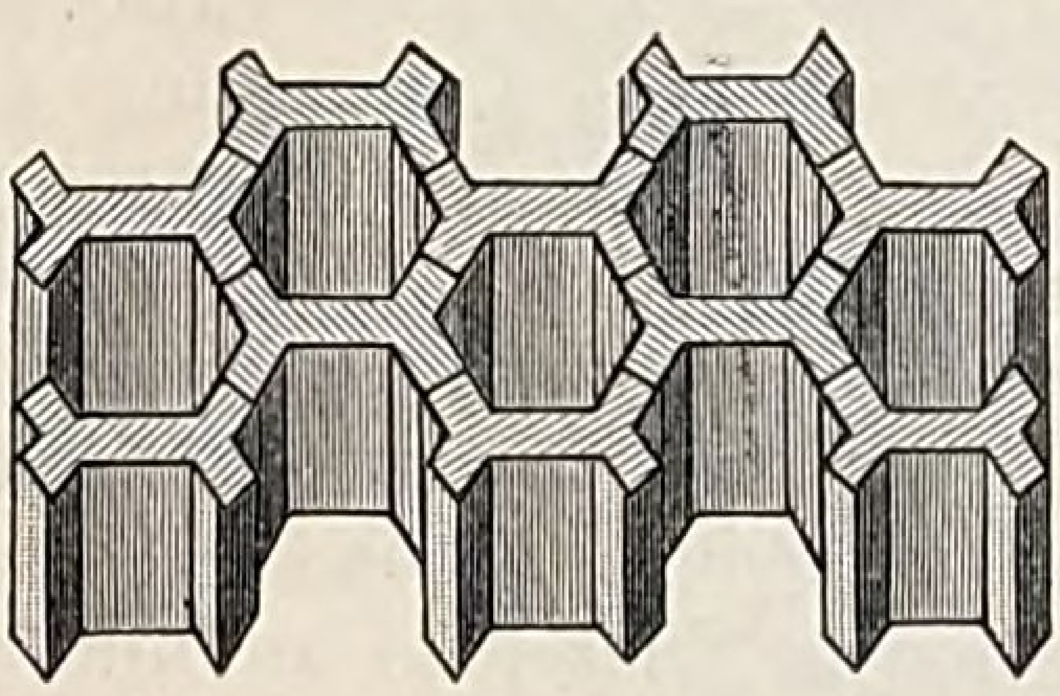
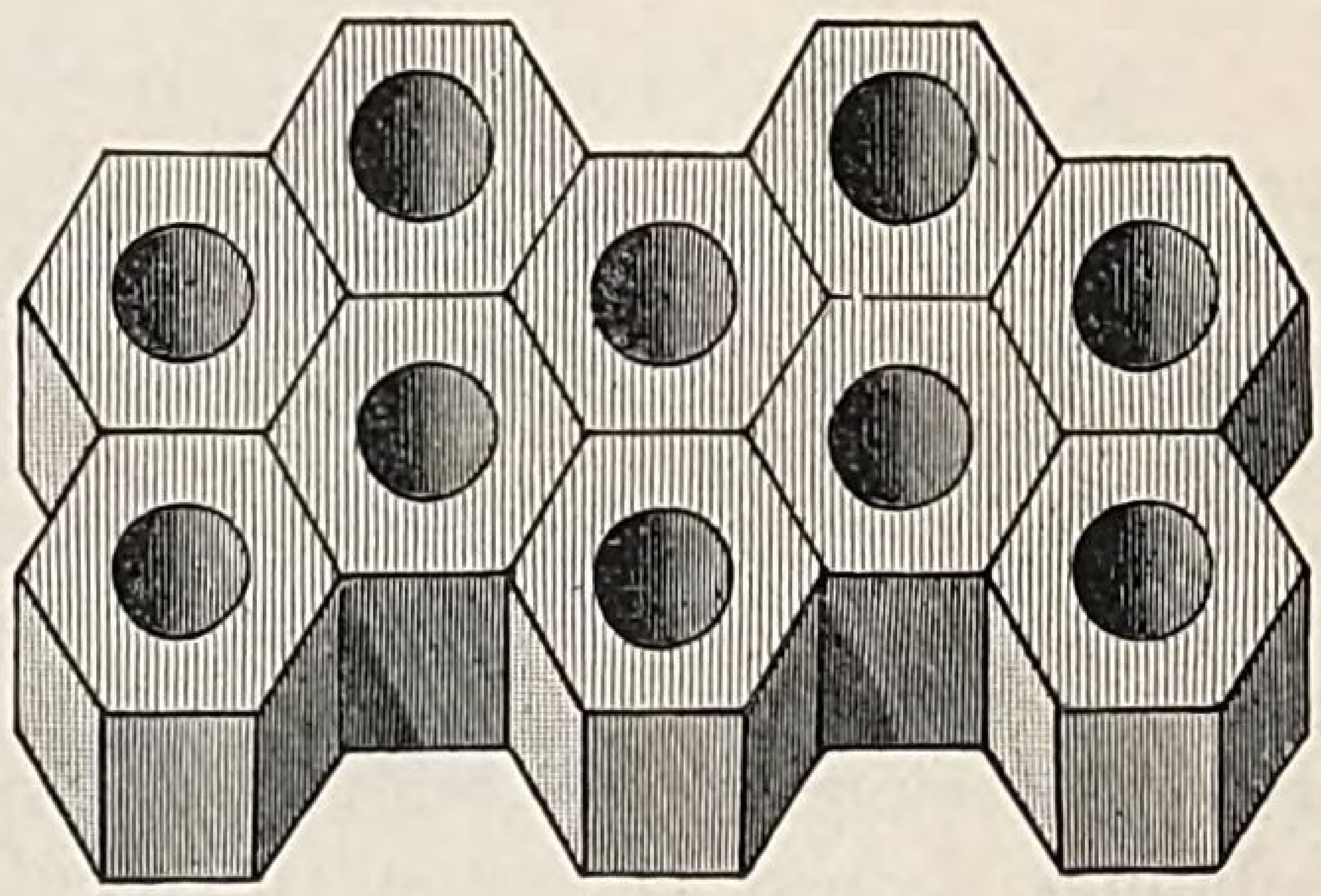


Fig. 159.



Statt der zum Tragen der Heizkanäle bestimmten eisernen Füsse des Winderhitzers (Fig. 156 und 157) hat man bei dem hier beschriebenen Winderhitzer niedrige Mauerpfeiler in Anwendung gebracht, welche durch gemauerte Bogen verbunden sind. Auf den Bogen stehen hochkantig feuerfeste Platten von 600 mm Höhe (in Fig. 160 erkennbar), und auf diesen ruhen die Steine, welche die Heizkanäle bilden.

Bei einem Cowper-Winderhitzer von der zuerst (Fig. 156 und 157) dargestellten Einrichtung werden die Gase und der Wind, ihrem Bestreben, den kürzesten Weg zu nehmen, folgend, vorwiegend in der Mitte zwischen dem Verbrennungsschacht und den gegenüber befindlichen Auslass- und Eintrittsöffnungen sich bewegen, und die seitlich davon befindlichen Züge werden weniger berührt.

In verschiedener Weise hat man diesem Uebelstande abzuhelfen gesucht.

Giebt man dem Verbrennungsschachte statt des kreisförmigen Querschnitts elliptische Form, wie in Fig. 160, so erhält er bei gleicher Grösse des Querschnitts beträchtlichere Breite, und es lässt sich er-

1) Nach einer Abhandlung von F. Braune in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1898, Seite 1013.

warten, dass auch der Gas- und Windstrom hierdurch eine etwas, wenn auch nicht erheblich stärkere Ausbreitung in den Heizkanälen erfährt.

Boecker[1]) sucht das gleiche Ziel dadurch zu erreichen, dass er die mittleren Kanäle enger, die äusseren weiter macht (in Friedenshütte 165 und 200 mm, bei neueren Ausführungen 130 und 160 mm), also die Widerstände in den mittleren Zügen erhöht; französische Werke verringern den Durchzug der Gase und der Luft durch die mittleren Züge durch Auflegen von Ziegeln mit engerer Durchgangsöffnung (100 mm Durchgangsöffnung bei 150 mm weiten Zügen).[2])

Auch durch Anordnung mehrerer, am Umfange des Winderhitzers vertheilter Austrittsöffnungen für das Gas und Eintrittsöffnungen für den Wind, welche sämmtlich mit Stellvorrichtungen (Schiebern, Drosselklappen) versehen sind, würde sich die Vertheilung regeln lassen. Da jedoch die Winderhitzer der beschriebenen Einrichtung immerhin ihren Zweck erfüllen, pflegt man von der Anwendung jenes Mittels abzusehen.

Die Verschlüsse der steinernen Winderhitzer.

Zu den Hindernissen, welche in den ersten Jahren nach Erfindung der steinernen Winderhitzer sich ihrer allgemeineren Anwendung entgegensetzten, gehörte auch die Schwierigkeit, Verschlussvorrichtungen für die Gas- und Windöffnungen anzubringen, welche, ohne in der hohen Temperatur undicht zu werden, doch sich ohne Schwierigkeit handhaben lassen. Bei dem ziemlich bedeutenden Querschnitte jener Oeffnungen und der starken Pressung, mit welcher bei grösseren Hochöfen der Wind durch die Kammer hindurchzieht, hat jede an und für sich nicht einmal sehr erhebliche Undichtigkeit in dem Verschlusse der Oeffnungen einen bedeutenden Windverlust zur Folge.

Am einfachsten kann die Einrichtung zur Absperrung des kalten Windes sein. Ein gut gearbeiteter Schieber pflegt hier den Zweck zu erfüllen.

Für den Verschluss des Heisswindrohres wurden bei den im Laufe der siebziger Jahre erbauten Whitwell-Winderhitzern vielfach wassergekühlte Ventile benutzt. Das aus Eisenblech gefertigte Ventil hatte linsenartige Gestalt, war hohl, und in der Ventilstange waren zwei in das Innere des Ventils führende Röhren angebracht, an deren Enden Kautschukschläuche angeschlossen waren, um das kalte Wasser zu- und das erwärmte abzuleiten. Durch eine Kurbel mit Getriebe und Zahnstange wurde die Bewegung des mit Gegengewicht versehenen Ventiles bewirkt. Auch der gusseiserne Ventilsitz war hohl und wurde durch hindurchfliessendes Wasser kühl erhalten. Die oben gegebene Abbildung eines älteren Winderhitzers (Fig. 150) zeigt von aussen die Ventilstange nebst Kette und Gegengewicht. Wo die Einrichtung einmal eingeführt war, findet man sie auch jetzt noch mitunter in Benutzung; sie ist jedoch kostspielig und schwerfällig zu handhaben. Bei den neueren Winderhitzern sind diese Ventile daher ausser Anwendung

1) „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 920.

2) Ebenda; auch Seite 774 desselben Jahrganges, wo ein noch anderes Verfahren für Erreichung des gleichen Zweckes beschrieben ist.

Cowper-Winderhitzer.

mit Vorwärmung der Luft.

1/150 der wirklichen Grösse.

Fig. 160.

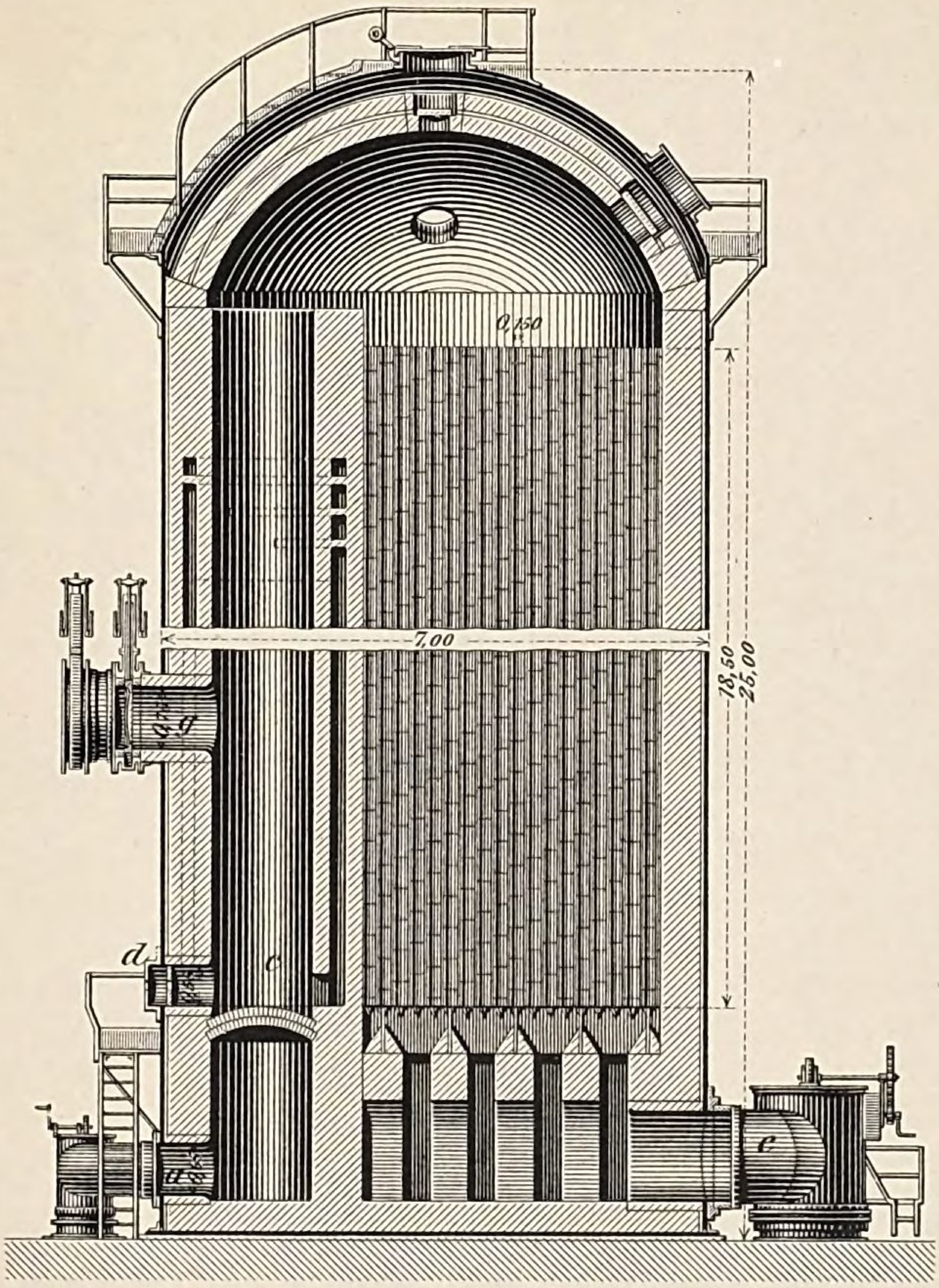
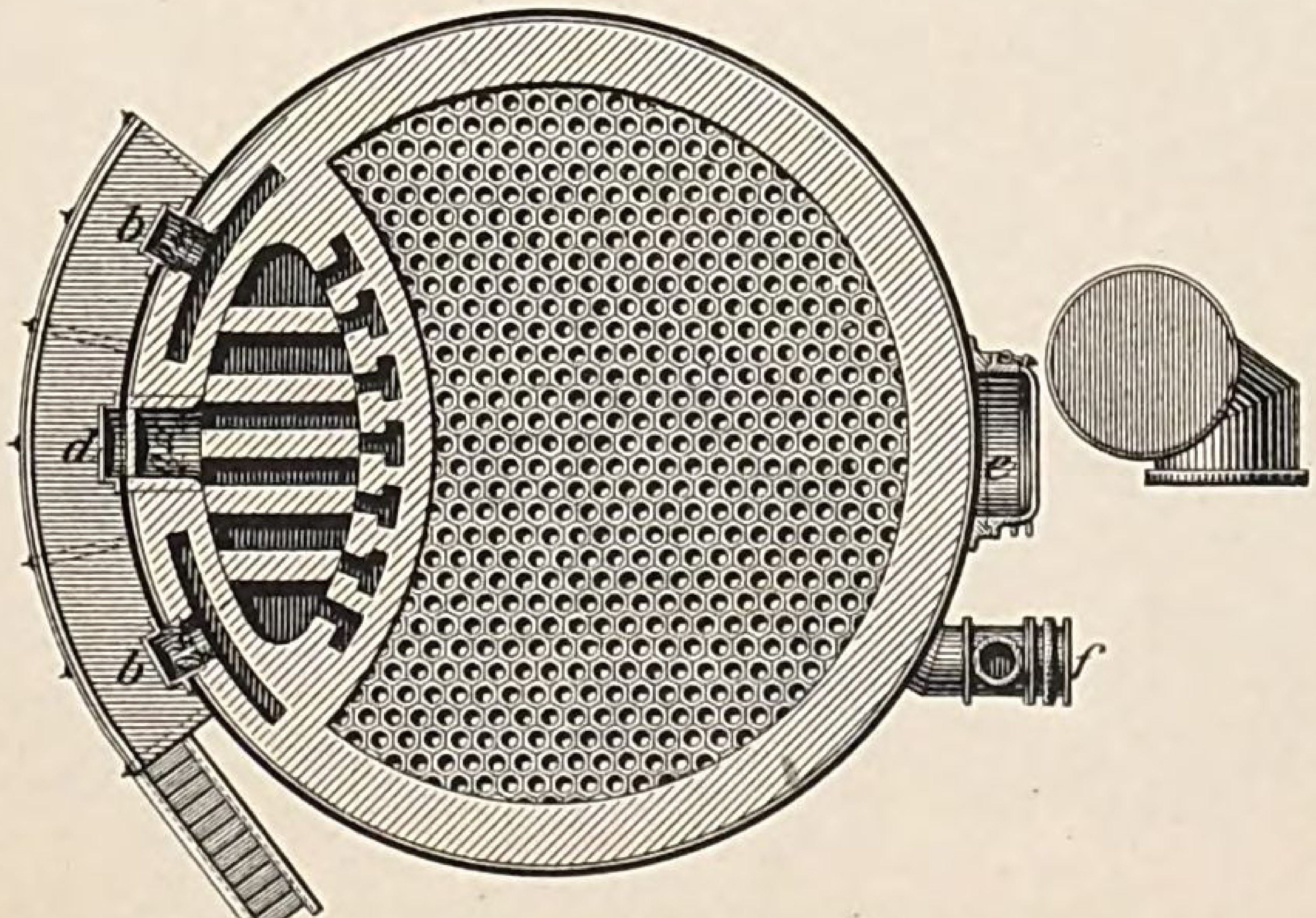


Fig. 161.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Tecnn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

gekommen. Man pflegt Schieber aus Stahlguss zu benutzen, mit gekrümmten Flächen, welche leichter als gerade dem Verziehen widerstehen und mit Asbest gedichtet sind. Gewöhnlich bringt man zwei solcher Schieber hinter einander an, um desto dichteren Abschluss zu erhalten und gegen alle Gefahren geschützt zu sein, falls ein Schieber versagen sollte. Bei dem Winderhitzer Fig. 156 sind in dem Heisswindrohre die beiden Schieber erkennbar. Mitunter versieht man auch diese Schieber mit Wasserkühlung, indem man sie hohl giesst, gewöhnlich aus Bronze, und Wasser einleitet. Der in Fig. 160 abgebildete Winderhitzer ist mit solchen gekühlten Schiebern in der Heisswindleitung *g* versehen. Die Bewegung der Schieber pflegt mit Hülfe eines Hebels bewirkt zu werden.

Fig. 162.

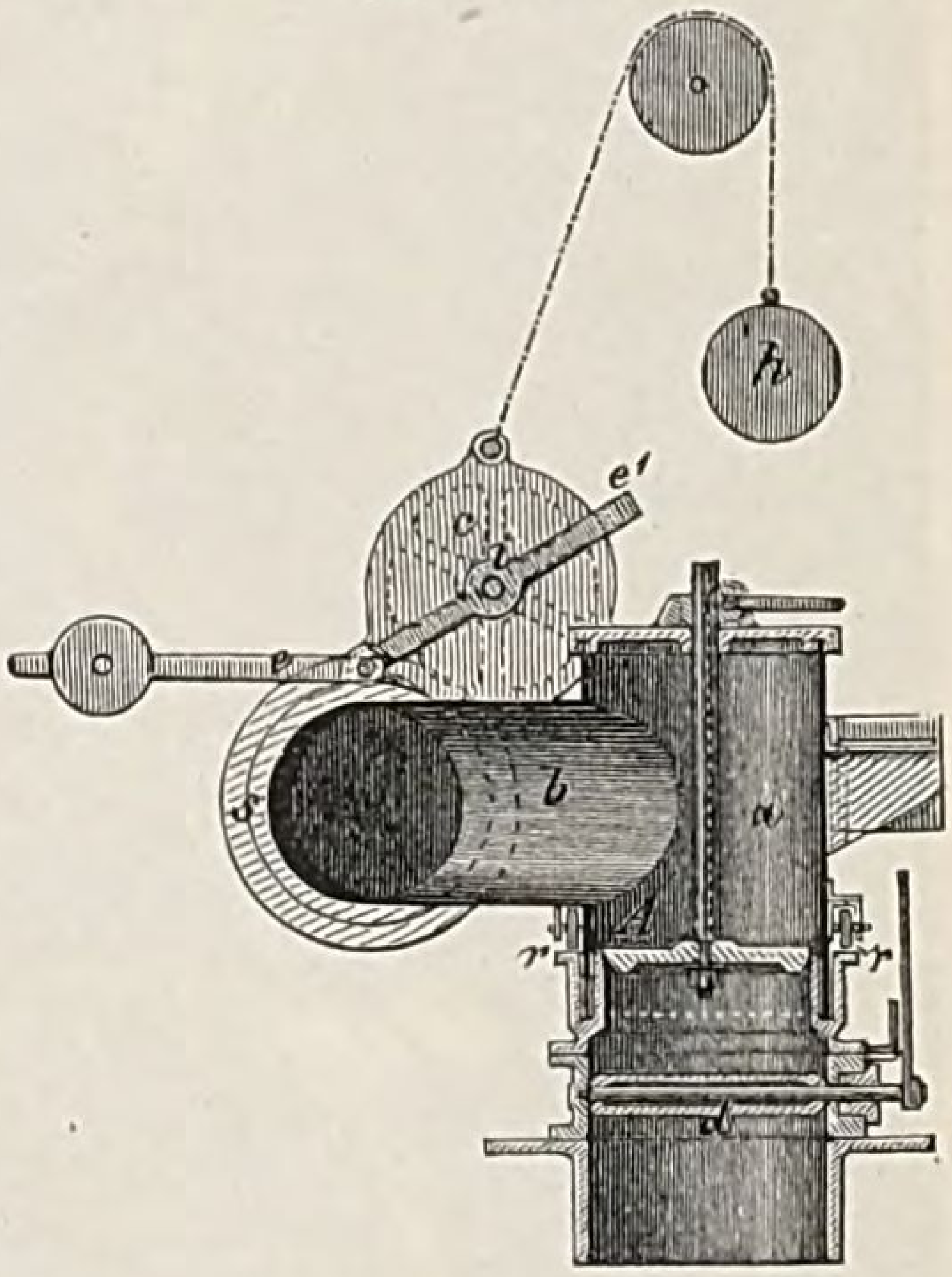
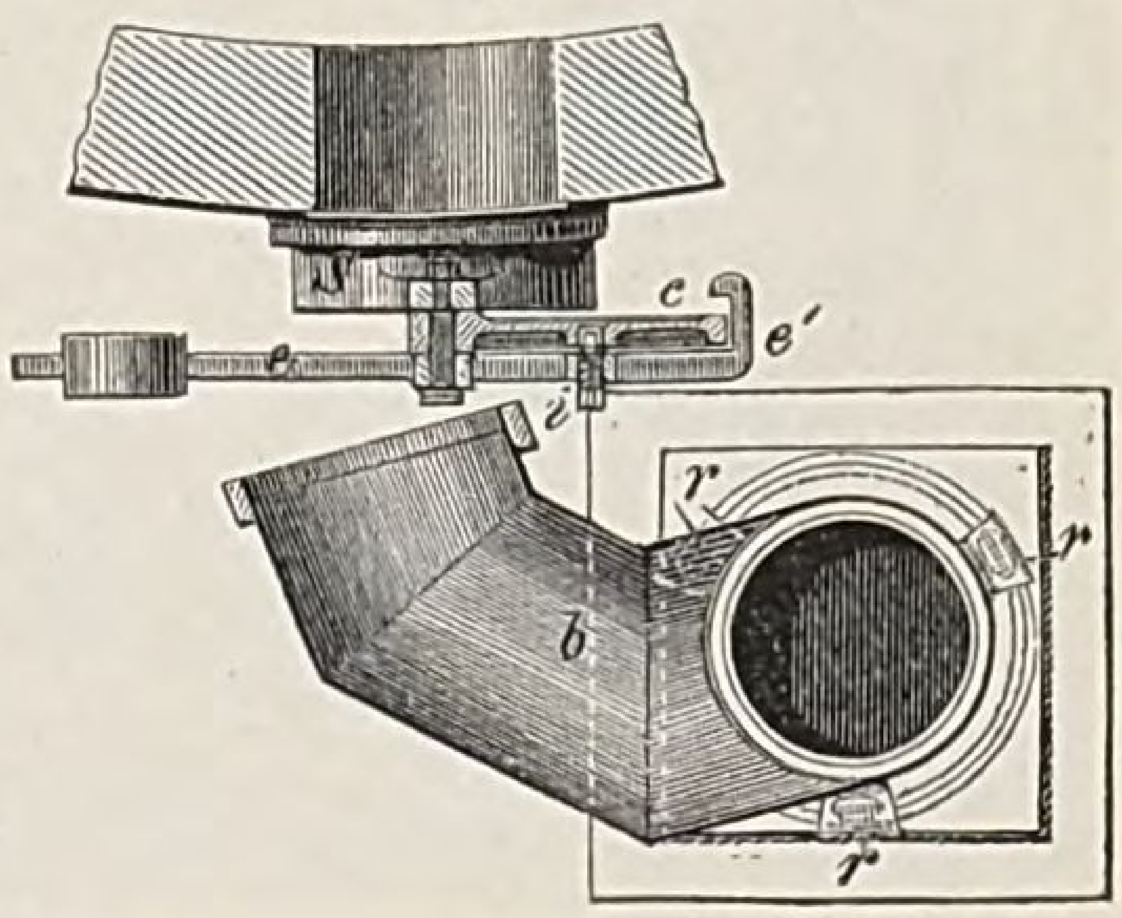


Fig. 163.



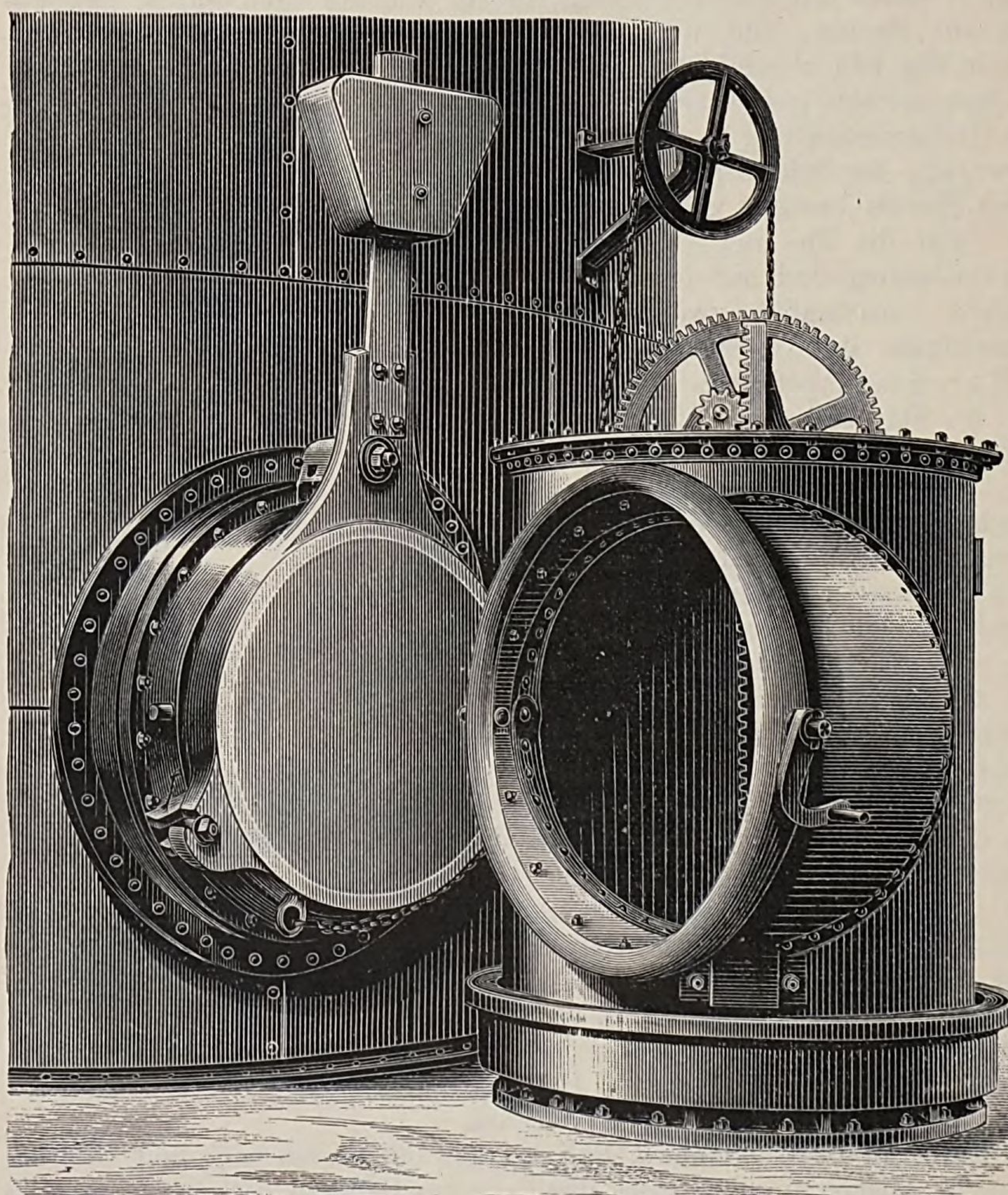
Für die Zu- und Auslassöffnungen der Gasleitung sind auf deutschen Eisenwerken vornehmlich zwei verschiedene Verschlüsse in Anwendung. Ein von F. Burgers eingeführtes Drehventil hat die in Fig. 162 und 163 dargestellte Einrichtung.

Das aus Eisenblech gefertigte Rohr *a* taucht mit seinem unteren Rande in eine Wasserrinne und wird von drei ausserhalb befestigten Rollen *r r* getragen, wodurch eine leicht auszuführende Drehung um seine Achse ermöglicht ist. Seitlich ist an das Rohr der Krümmer *b* angeschlossen, welcher mit dem Rohre gedreht wird, und dessen Mündung mit einem abgedrehten Borde versehen ist. An dem Mantel der Heizkammer ist der gusseiserne Rahmen *S* befestigt. Soll das Gas in die Kammer eintreten, so dreht man das Rohr *a* so weit herum, dass die Mündung des Krümmers *b* sich dicht an *S* anlegt, öffnet das in gewöhnlicher Weise eingerichtete Tellerventil *A*, welches durch Zahnstange und Getriebe bewegt wird,[1]) und regelt den Gasstrom mit Hülfe der Drosselklappe *d*. Soll dagegen das Blasen beginnen, so dreht man zur Absperrung des Gases das Rohr zur Seite in die durch Fig. 163 wie auch oben in Fig. 161 bei *e* dargestellte Lage, bringt durch Drehung des Hebels *e* den Gusseisenteller *c* vor die Oeffnung des Rahmens *S*, welche dadurch abgedeckt wird, und drückt ihn durch Anziehen der Schraube *i* fest gegen den Rand, so dass in wenigen Secunden ein

1) Auch ein in dieselbe Wasserrinne wie das Rohr *a* eintauchendes Glockenventil aus Eisenblech lässt sich an Stelle des Tellerventiles benutzen. Bei dem Auslassventil des Winderhitzers Fig. 156 ist eine solche Form gewählt.

luftdichter Abschluss der Oeffnung hergestellt ist. Der Arm c_1 des Kniehebels greift dabei, um der Schraube den erforderlichen Gegendruck zu verschaffen, mit seinem bügelartig umgeschmiedeten Ende hinter eine angegossene Nase des Rahmens *S*. Ein an den Teller *c* angeschlossenes Gegengewicht *h* erleichtert beim Oeffnen das Empordrehen

Fig. 164.



desselben, nachdem die Verschlussschraube gelöst wurde. Die Abbildung Fig. 164 zeigt in der Schaubildansicht und in grösserem Maassstabe die Stellung der Theile während des Blasens.[1])

Der Vortheil dieser Einrichtung liegt in dem Umstande, dass der Ventilteller *A* nur zur Absperrung des Gases dient und nicht auch,

1) Aus dem Musterbuche der Firma Heintzmann & Dreyer in Bochum.

wie bei früheren Einrichtungen, das Austreten des heissen Windes verhindern soll, somit kalt bleibt und von aussen her zugänglich ist. Er kann ohne Schwierigkeit gereinigt und nöthigenfalls ausgewechselt werden.

Das Auslassventil ist ebenso wie das Einlassventil eingerichtet, nur entsprechend grösser in den Abmessungen wegen des grösseren Rauminhaltes der austretenden Gase.

Ebensolche Teller mit Gegengewichten, wie hier zum Verschlusse der Oeffnungen während des Blasens dienen, pflegt man auch zum Verschlusse der Lufteinströmungs- und Reinigungsöffnungen anzuwenden.

Fig. 165.

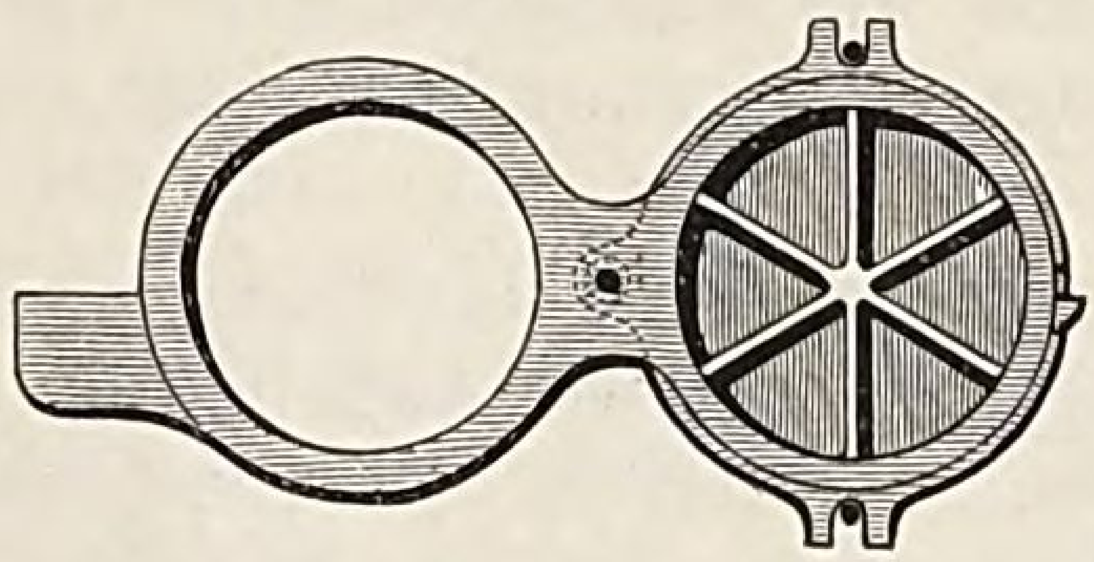
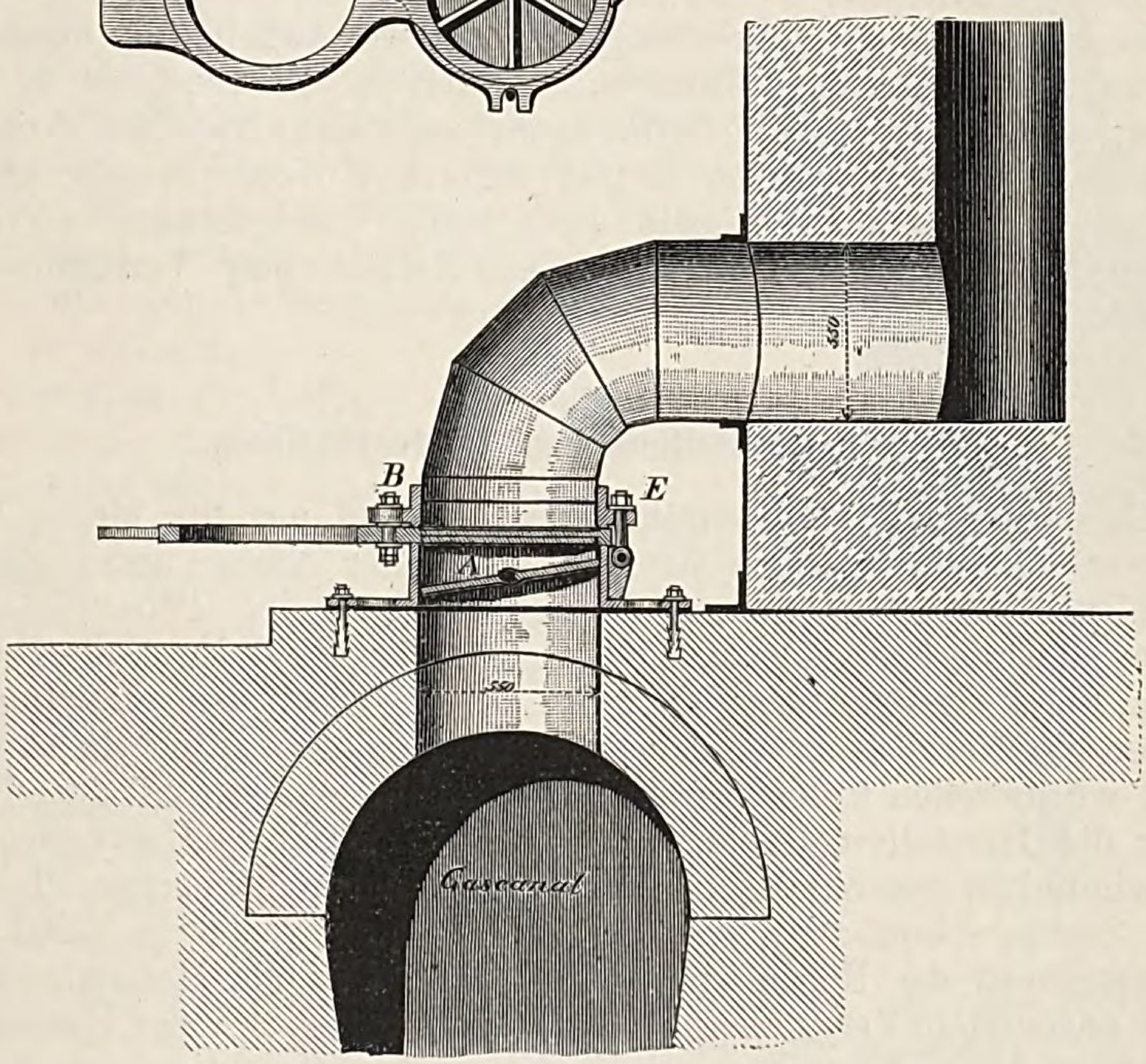


Fig. 166.



Bei dem Winderhitzer Fig. 156 sind die sämmtlichen Oeffnungen mit den hier besprochenen Burgers-Verschlüssen versehen.

Eine andere, ebenfalls häufig benutzte Absperrvorrichtung wurde durch Schmidt eingeführt und ist unter dem Namen Schmidtsche Brille bekannt. Sie besteht aus der Verbindung eines aus Gusseisen oder Stahl gefertigten Tellers, welcher als Verschlussvorrichtung dient, mit einem Ringe, dessen innerer Durchmesser dem innern Durchmesser der Rohrleitung entspricht. Beide Theile sind in einem Stücke gegossen und in ihrer Ebene um einen gemeinschaftlichen Zapfen drehbar, wie Fig. 165 darstellt. Die beiden äusseren Flächen des Gussstückes

(der Drehscheibe oder Brille) sind glatt bearbeitet. Fig. 166 zeigt die Anbringung in der Leitung, und zwar in der Stellung, bei welcher Absperrung stattfindet (während des Blasens); die Brille ist so gedreht, dass der Teller sich innerhalb der Leitung befindet und die Absperrung bewirkt. Damit winddichter Abschluss stattfinde, ist das aus Eisenblech gefertigte Gasrohr an der Stelle, wo die Brille eingelegt ist, mit einem abgedrehten Borde versehen, gegen welchen der Rand der Brille durch Anziehen der Schraube *E* (deren zwei vorhanden sind) gepresst wird. *B* ist der Drehungszapfen. Soll die Verbindung mit dem Gaskanale hergestellt werden, so löst man die Schrauben *E*, klappt sie nieder, dreht die Brille um 180 Grad, so dass der Ring sich innerhalb der Leitung befindet, bringt die Schraube *E* wieder in ihre Stellung und öffnet die Drosselklappe *A*. Ebenso wie die abgebildete Zulassvorrichtung ist die Auslassvorrichtung eingerichtet, nur besitzt sie entsprechend grössere Abmessungen.

Die Schmidtsche Brille ist einfacher als das Burgerssche Ventil, aber sie macht, da die Rohrleitung festliegt, die Anbringung besonderer Reinigungs- und Einsteigeöffnungen erforderlich, während bei der Einrichtung nach Burgers die Oeffnungen, an welche sich die drehbaren Rohre anschliessen, zugleich jenem andern Zwecke dienen können. Nicht selten findet man deshalb auch beide Vorrichtungen an einem und demselben Winderhitzer, für den Einlass den Verschluss von Schmidt, für den Auslass den von Burgers.

4. Die Windleitung und Windvertheilung.

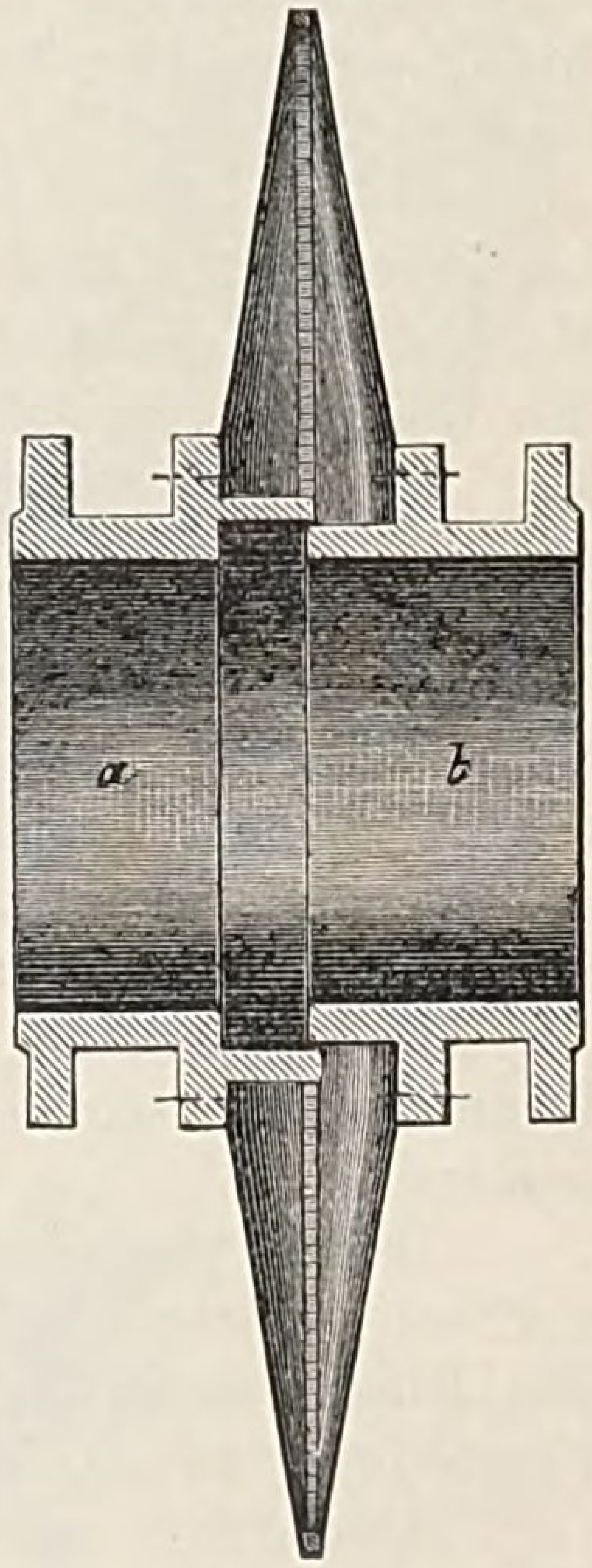
Man benutzt Eisenblechröhren, selten und nur für kleine Windmengen Gusseisenröhren, welche in geeigneter Weise unter einander verbunden werden. Je grösser der Durchmesser der Röhren ist, desto geringer sind die Pressungsverluste, welche der Wind durch die Reibung erleidet; dass eine ausreichend weite Leitung auch bei eincylindrigen Gebläsen die Einschaltung eines besondern Regulators entbehrlich machen könne, wurde schon früher erwähnt. Immerhin wachsen mit dem Durchmesser die Herstellungskosten der Leitung. Nach v. Hauer soll die Geschwindigkeit des Windes in den Leitungsröhren höchstens 10 – 15 m in der Secunde betragen, woraus sich für eine gegebene Windmenge der Querschnitt der Röhren berechnen lässt. Für die Heisswindleitung ist die bedeutende Vergrösserung $v_w = (1 + 0{,}00366\ t)\ v$ der Raummenge des Windes durch Erhitzung gebührend zu berücksichtigen; doch giebt man den Heisswindröhren gern einen verhältnissmässig engen Durchmesser, damit nicht die Bewegung des heissen Windes allzu sehr verlangsamt und dadurch Gelegenheit zu Wärmeverlusten gegeben werde.

Auch durch Umhüllung oder Auskleidung mit schlechten Wärmeleitern muss die Heisswindleitung in jedem Falle vor starken Windverlusten geschützt werden. Windleitungen für Hochöfen mit eisernen Winderhitzern, in denen der Wind nicht über 500°, selten erheblich über 400° erhitzt wird, pflegt man aussen mit schlechten Wärmeleitern in derselben Weise zu umhüllen, wie es bei Dampfleitungen üblich ist. Schlackenwolle, Lehm oder ähnliche Körper werden als Packungsmaterial

benutzt und äusserlich durch umgelegtes Blech, getheerte Pappe und dergleichen und umgewickelten Bindedraht festgehalten.

Röhren dagegen, durch welche der von steinernen Winderhitzern kommende, stärker erhitzte Wind fortgeleitet werden soll, werden, um nicht durch die Einwirkung der Hitze und des Sauerstoffs zerstört zu werden, im Innern mit einer dicken Lage feuerfesten Materials ausgekleidet. Man pflegt sie in einer Stärke von etwa 30 cm mit feuerfesten Ziegeln auszumauern, und benutzt dazu gewöhnliche Schamotteziegeln oder auch Ziegeln, welche durch Vermischen mit Koksklein gefertigt sind. Sie sind schlechte Wärmeleiter und besitzen geringeres Gewicht. In Fig. 156 ist diese Auskleidung des Heisswindrohrs *e* erkennbar.

Fig. 167.



Nicht mindere Rücksicht ist bei längeren Leitungen auf den Umstand zu nehmen, dass die Röhren für den heissen Wind bei der Erhitzung sich ausdehnen, ihre Länge vergrössern, und bei eintretender Erkaltung sich wieder zusammenziehen. Für je 100° C. beträgt die Längenausdehnung des Eisens 0,00111; eine Leitung von 10 m Länge verlängert sich demnach bei der Erhitzung auf 400° um 45 mm. Zur Verhütung von Brüchen müssen Vorkehrungen getroffen werden, um der Leitung eine gewisse Beweglichkeit zu sichern.

Solche in die Leitung eingeschaltete, eine Verlängerung und Verkürzung ermöglichenden Vorrichtungen heissen Compensatoren.

Die üblichste Einrichtung eines Compensators zeigt die Abbildung Fig. 167 (Scheibencompensator). An den Leitungsröhren sind die beiden Rohrstutzen *a* und *b* befestigt, deren Enden über einander greifen und sich um ein gewisses Maass in einander verschieben lassen. Damit hierbei keine Klemmung entstehe, ist der äussere Durchmesser des Rohrstutzens *b* einige Millimeter schwächer gehalten als der innere Durchmesser des Endes von *a*. Aus gut federndem Eisenblech von 2 bis 3 mm Stärke sind zwei kreisrunde Scheiben von grossem Durchmesser an *a* und *b* befestigt, wie die Abbildung erkennen lässt, und an ihrem äusseren Rande durch einen eingelegten luftdicht vernieteten Metallring mit einander verbunden. Dehnt sich die Leitung aus, so werden die beiden Scheiben zusammengedrückt, um beim Erkalten ihre ursprüngliche Stellung wieder einzunehmen. Bei dem Winderhitzer Fig. 156 ist in dem Heisswindleitungsrohre *e* links neben dem Schieber ein solcher Compensator angebracht.

Eine andere Gattung dieser Vorrichtungen nennt man Stopfbuchsencompensatoren. Das Ende des einen Rohres ist abgedreht und schiebt sich in dem mit Stopfbuchse versehenen Ende des andern. Als Packungsmaterial für die Stopfbuchse dient Asbest, da der sonst übliche Hanf in der Temperatur des erhitzten Windes verkohlt werden

würde. Sie sind nur für Leitungen von kleinerem Durchmesser (50 cm und darunter) üblich.

So viel als irgend thunlich sucht man indess die Zahl der erforderlichen Compensatoren durch Abkürzung der Leitungen für den heissen Wind einzuschränken.

Ein ringförmig um den Hochofen herum laufendes Vertheilungsrohr nimmt schliesslich den Wind auf, um ihn durch Zweigröhren den einzelnen Formen des Hochofens zuzuführen. Früher, so lange man die Hochöfen mit Rauhgemäuer baute, pflegte man das Vertheilungsrohr vertieft in einen gemauerten Kanal zu legen und von hier den Wind aufsteigen zu lassen (Fig. 101, 102); bei den jetzigen Hochöfen, deren Schacht von Säulen getragen wird, legt man das Vertheilungsrohr rings um die Rast herum und führt den Wind von hier abwärts. Die Anordnung wird dadurch übersichtlicher und leichter zugänglich. Gewöhnlich lässt man das Rohr auf Kragstücken ruhen, welche an den zum Tragen des Schachtes bestimmten Säulen angegossen oder angeschraubt sind. Verschiedene der früher gegebenen Abbildungen von Hochöfen lassen diese Einrichtung erkennen (Fig. 104, 107, 108). Da das Rohr bei der Erhitzung seinen Durchmesser vergrössert, ist auch hier eine gewisse Beweglichkeit nothwendig, damit nicht etwa ein nachtheiliger Schub auf die Säulen ausgeübt werde. Bei dem in Fig. 104 abgebildeten Hochofen ist dieser Zweck erreicht, indem man das Rohr in Lagern ruhen lässt, die von eisernen, als Rollen wirkenden Rundstäben getragen werden.

Aus dem Vertheilungsrohre gelangt der Wind durch den Düsenstock oder Düsenständer zur Düse, d. h. zu dem Endstücke der Leitung, aus welchem er in den Ofen eintritt.

Der Düsenstock besteht aus einer gegen die Düse zu wagerechten Windleitung, welche durch ein Knie mit dem Vertheilungsrohre verbunden ist.

Damit aber die Düse ohne Schwierigkeit eingesetzt und ausgewechselt, damit ihre Lage genau geregelt werden könne, lässt man den Düsenständer aus mehreren Theilen bestehen, welche eine gewisse Verstellung unter einander gestatten.

Ausserdem ist es gebräuchlich, in jedem Düsenstocke eine Absperrvorrichtung für den Wind anzubringen, theils um erforderlichen Falls ohne weitere Umstände die eine oder andere Düse ausser Thätigkeit setzen zu können, ausserdem auch, um durch Schliessen der Vorrichtung beim Stillstande des Gebläses das Zurücktreten von Kohlenoxydgas in den Düsenständer und die dadurch veranlasste Bildung von Knallgas zu verhüten. Der Umstand, dass der Düsenständer mit erhitzter Luft angefüllt ist, die bei längerem Stillstande sich abkühlt und ihren Rauminhalt dabei verringert, kann die Veranlassung zum Ansaugen von Gas aus dem Hochofen geben.

Ein Schieber oder eine Drosselklappe kann hierzu dienen. Bei grösseren Hochöfen wendet man mitunter zur grösseren Sicherheit einen selbstthätig wirkenden Verschluss in der Nähe der Düse an, welcher durch den Winddruck geöffnet wird und zufällt, sobald der Windstrom aufhört. In anderen Fällen begnügt man sich, die Düse während des Stillstandes zurückzuziehen, oder man ermöglicht durch Oeffnen eines

im Düsenständer angebrachten Verschlusses den Zutritt der äusseren Luft, wodurch das Ansaugen von Gas verhindert wird.

Je strengflüssiger die Schlacke, je niedriger die Temperatur im Hochofen und je enger das Gestell ist, desto häufiger tritt die Nothwendigkeit ein, Ansätze, die sich an den kälteren Formen gebildet hatten, zu entfernen, indem man einen Haken durch die Formöffnung in den Ofen führt, nachdem die Düse zurückgezogen worden ist. Hieraus erklärt es sich, dass man, wo jene Verhältnisse eine häufige Reinigung der Formen nothwendig machen, also insbesondere bei älteren Holzkohlenhochöfen, welche mit nur mässig erwärmtem Winde und in

Fig. 168.

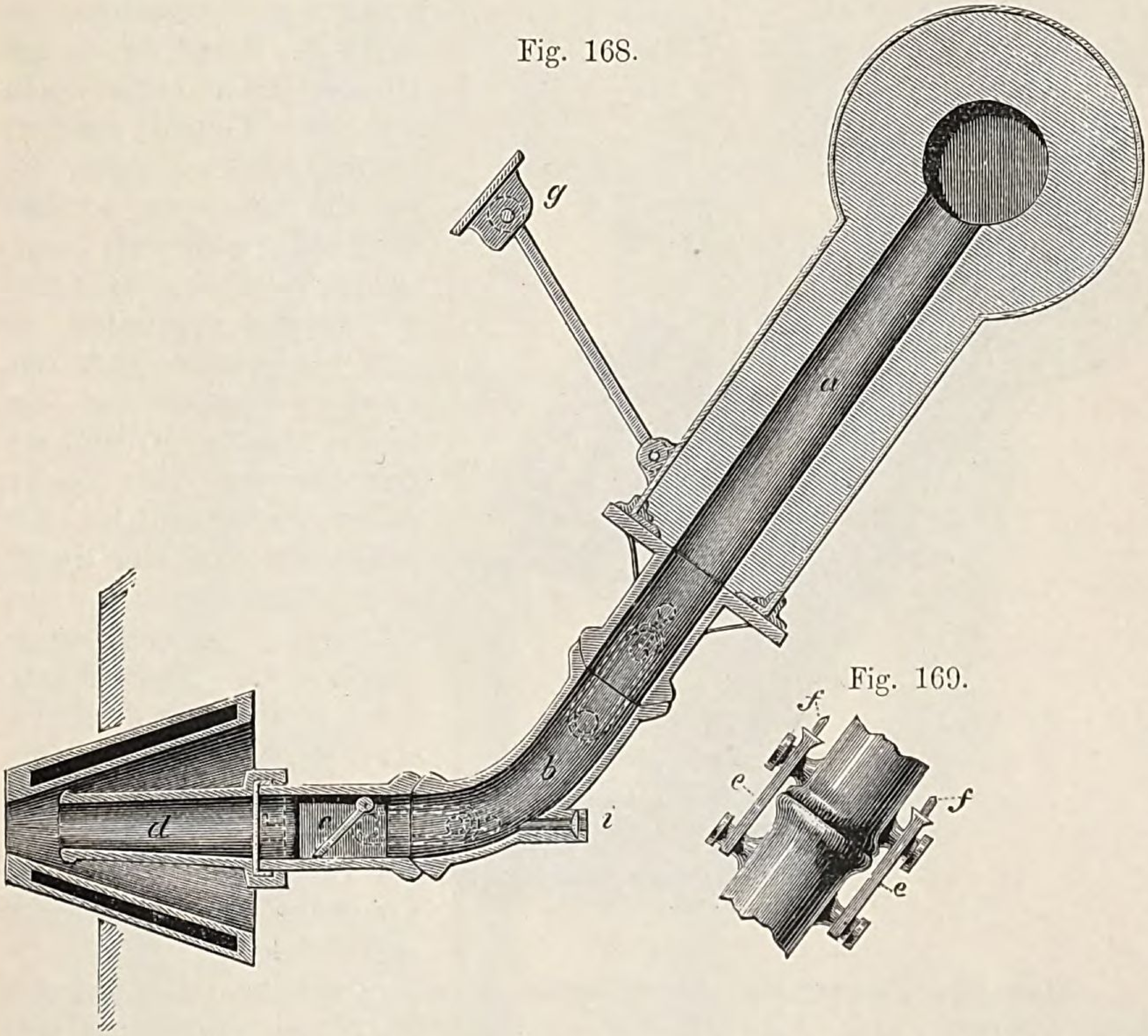


Fig. 169.

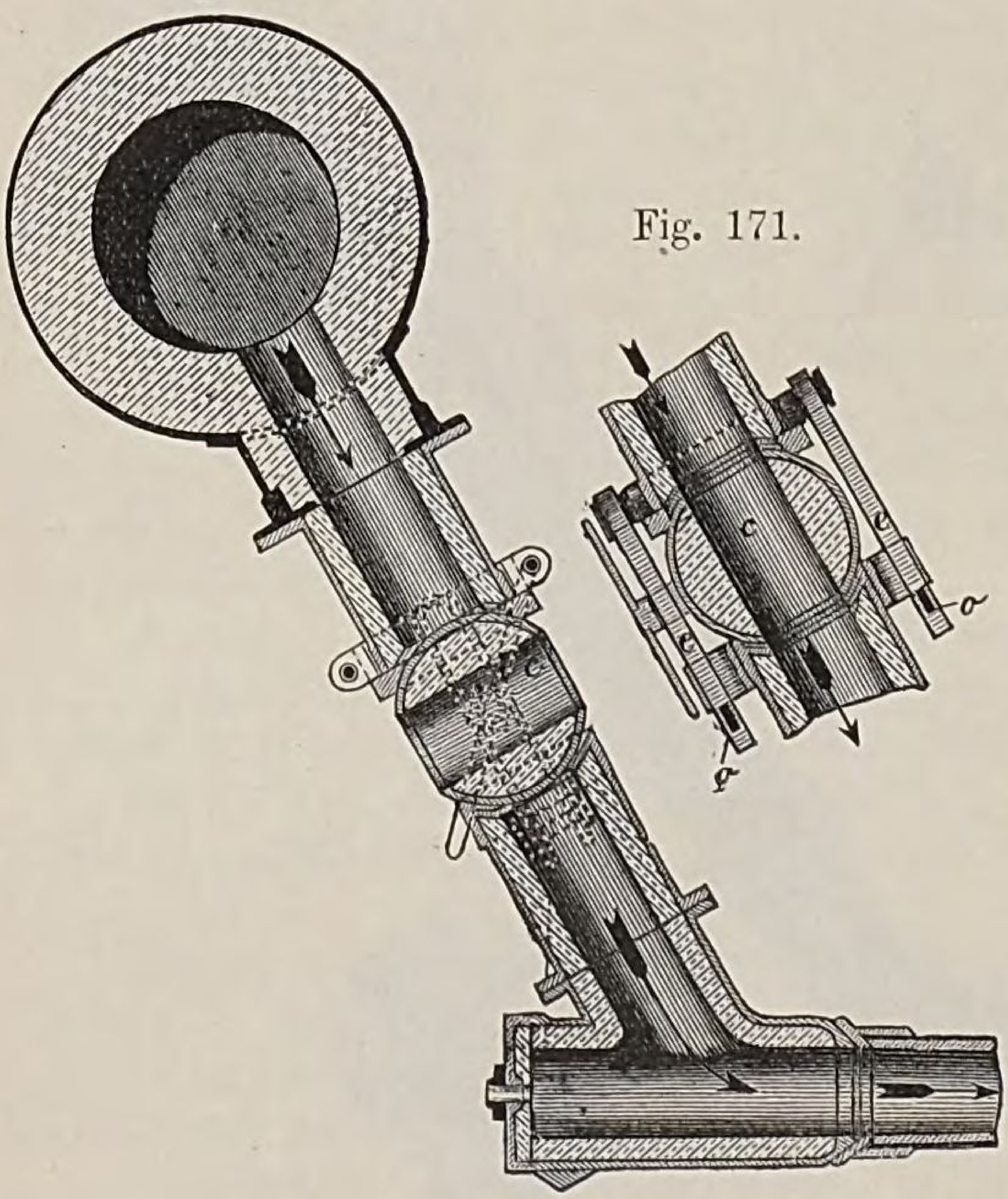
engen Gestellen graues Roheisen darstellen, oft eine recht vielgliedrige Anordnung der Düsenständer findet, dem Zwecke entsprechend, die Düsen vor- und rückwärts bewegen zu können, auch ohne dass eine Abstellung des Windes nothwendig wird. Je stärker man den Wind erhitzen lernte und je mehr man durch Anwendung hoch erhitzten Windes die Gefahr der Entstehung jener Ansätze beseitigte, desto einfacher ist die Einrichtung der Düsenständer geworden.

Ein Düsenständer mit selbstthätig wirkender Verschlussklappe, in den siebziger Jahren eingeführt, ist in Fig. 168 und 169 abgebildet. Ausser der Düse *d* besteht er nur aus drei Stücken, dem wagerechten Rohre *c*, dem Krümmer *b* und dem von dem Vertheilungsrohre abgezweigten Rohre *a*. *b* ist an *a* und *c* ist an *b* durch einfach eingerichtete

Kugelgelenke angeschlossen. Zur Herstellung der Verbindung werden die Schmiedeeisenbänder *ee* über die an die Rohrstücke angegossenen Zapfen übergeschoben und durch Schrauben *ff* fest angezogen; auf diese Weise lässt sich in wenigen Secunden die Verbindung lösen und wieder herstellen, wenn eine veränderte Lage der Düse nothwendig werden sollte. Auch ein Keil, welcher durch Oeffnungen des Bügels hindurchgeht, ist statt der Schraube benutzbar.

In dem Rohrstücke *c* ist die erwähnte Klappe angebracht. Da ihr Drehungspunkt oberhalb des Rohrmittels liegt, muss das Rohr an dieser Stelle vierseitigen Querschnitt erhalten, damit die Drehung der Klappe möglich werde. Der Deckel des Klappengehäuses *c* ist mit Durchbrechungen versehen; so lange der Wind durch den Düsenständer hindurchgeht und die Klappe geöffnet erhält, schliesst diese die Durchbrechungen, so dass kein Wind austreten kann; ist der Wind abgestellt und die Klappe zugefallen, so tritt von aussen Luft ein, sobald Verdichtung im Innern stattfindet, und ein Zurücktreten von Gasen findet nicht statt.[1]) Bei *c* befindet sich eine durch eine Glimmerplatte verschlossene Schauöffnung, welche die Beobachtung der Vorgänge vor der Form ermöglicht, ohne dass die Düse zurückgezogen zu werden braucht. Bei *g* ist der Düsenständer an dem Tragkranze für den Schacht aufgehängt.

Fig. 170. Fig. 171.



Statt der Klappenverschlüsse oder Schieber, welche mitunter versagen können, sind durch Boecker Hahnverschlüsse eingeführt und auf mehreren Werken zur Anwendung gebracht worden. Die Abbildungen Fig. 170 und 171 zeigen ihre Einrichtung. Der innen mit feuerfestem Material ausgekleidete kugelförmige Hahn *c* dreht sich in Kugellagern, welche an den beiden einander zugekehrten Rohrenden des Düsenständers angebracht sind. Die Drehung wird mit Hülfe eines über den Zapfen des Hahnes gesteckten Schlüssels bewirkt; in der jedesmal gewünschten Stellung wird er durch Zusammenpressen der Kugellager festgehalten, was durch Anziehen der Keile *oo* in den Bügeln *ee*

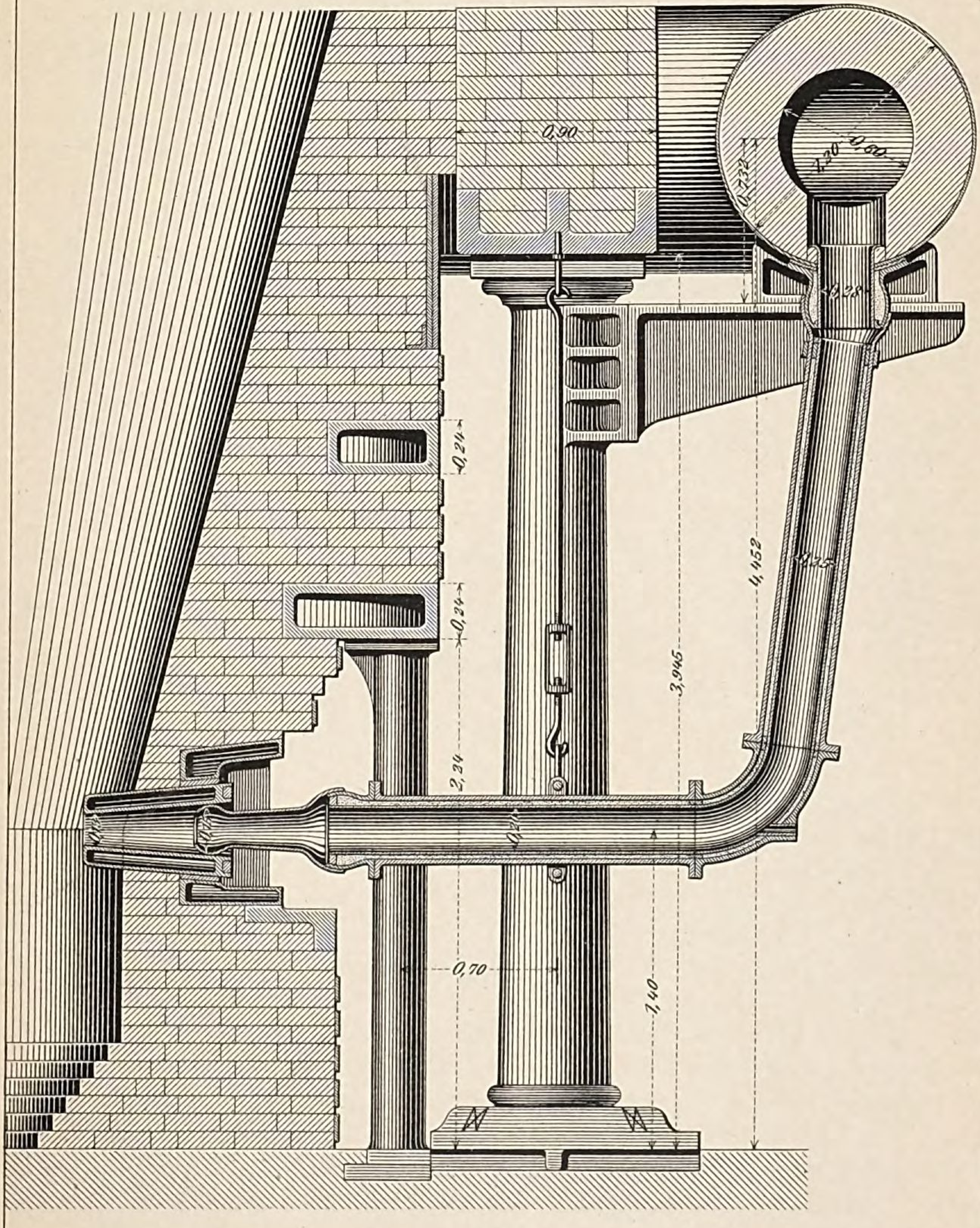
1) A. v. Kerpely, Bericht über die Fortschritte der Eisenhüttentechnik im Jahre 1878, Seite 143; Polyt. Review, vol. 5, p. 181; Dinglers polyt. Journal, Band 230, Seite 131.

Düsenstock der Dortmunder Union.

1/40

der wirklichen Grösse.

Fig. 172.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Tecnn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

bewirkt wird. Soll Drehung stattfinden, so werden die Keile gelockert. Fig. 170 zeigt die Hahnstellung bei Absperrung, Fig. 171 bei Zulass des Windes.

Ein Düsenständer von bewährter Einrichtung aus neuerer Zeit ist in Fig. 172 abgebildet. An das Vertheilungsrohr schliesst sich durch Vermittelung eines Kugelgelenkes der aus drei Theilen zusammengeschraubte, innen mit feuerfester Masse ausgekleidete knieförmige Düsenstock; mit diesem ist ebenfalls durch ein Kugelgelenk die Düse verbunden, deren in die Form hineinragendes Ende auch durch Kugelflächen begrenzt ist. Das Ganze ist in einer beweglichen Eisenstange mit Schraubenschloss so aufgehängt, dass die Düse in die Form sich hineinlegt; ohne Schwierigkeit ist man jedoch im Stande, den Düsenstock rückwärts oder nach der Seite hin zu bewegen, wenn Arbeiten an der Form vorgenommen werden sollen.[1])

Die Düse besteht aus einer schwach conischen Hülse aus Gusseisen, seltener aus Eisenblech, welche über das Ende des Düsenständers übergeschoben wird und sich leicht auswechseln lassen muss. Mitunter befestigt man sie, wie in Fig. 168 durch Punkte angedeutet ist, durch einen Bayonnetverschluss, so dass eine einfache Drehung genügt, sie zu lösen; in anderen Fällen schiebt man sie ohne sonstige Befestigungsvorrichtung über das Rohrende. Die Seitenconvergenz der Düse soll etwa 6 Grad betragen, weil bei dieser Form sich der günstigste Ausflusscoëfficient ergiebt.

Von dem Querschnitte der Düsenöffnung ist bei gegebener Windpressung die ausgeblasene Windmenge und bei gegebener Windmenge die erforderliche Pressung abhängig. Bei den kleinsten Holzkohlenhochöfen beträgt der Durchmesser dieser Oeffnung mitunter nicht über 25 mm, bei grossen Hochöfen bisweilen mehr als 150 mm. Dass der Durchmesser des Formauges nur wenig grösser als der Durchmesser der Düse sei, wurde schon früher erwähnt.

In früherer Zeit beim Betriebe mit kälterem oder überhaupt nicht erhitztem Winde pflegte man mit offener Form zu blasen, d. h. einen ringförmigen Zwischenraum zwischen der Aussenwand der Düse und der Innenwand der Form offen zu lassen, durch welche man die Vorgänge vor den Formen besser als durch das Schauloch am Düsenständer allein beobachten konnte. Noch heute ist bei Holzkohlenhochöfen, die mit weniger heissem Winde betrieben werden, dieses Verfahren nicht selten in Anwendung. Bei einer zur Formachse concentrischen Lage der Düse sind hierbei Windverluste durch die offene Form nicht zu befürchten; wohl aber wird durch den sich rasch fortbewegenden Windstrahl, zumal wenn der Durchmesser des Formauges etwas reichlich bemessen ist, kalte Luft von aussen her angesaugt und mit in den Ofen geführt, somit der Zweck der Winderhitzung theilweise vereitelt. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man leichte Körper, Papierschnitzel, Federn oder dergleichen, in die Nähe der offenen Form bringt; sie werden von dem Luftzuge nach der Form hin bewegt und in den Ofen geführt.

Mit je heisserem Winde man bläst, desto grösser sind hierbei die Wärmeverluste, desto geringer ist aber auch die Gefahr, dass vor den

1) Hinsichtlich sonstiger Formen von Düsenständern möge auf die unten gegebene Litteratur verwiesen werden.

Formen erstarrte Ansätze sich bilden. Daher werden die mit steinernen Winderhitzern versehenen Hochöfen sämmtlich mit geschlossener Form betrieben, und man verfolgt die Vorgänge im Ofen durch das erwähnte Schauloch im Knie des Düsenständers.

Der Zweck, die Form zu schliessen, lässt sich in mehrfacher Weise erreichen. Bei Fig. 168 ist die Düse mit herumlaufendem Wulst versehen und wird so weit vorgeschoben, dass dieser Wulst den Verschluss bewirkt. Will man aus besonderen Gründen die Düse nicht so weit als hier vorschieben, so kann man statt des Wulstes eine Scheibe auf ihr befestigen, welche an einem weiter rückwärts gelegenen Theile der Form in diese hineinpasst; bei dem Düsenständer Fig. 172 bildet das kugelförmige Ende der Düse den Verschluss.

5. Spannungs- und Temperaturmessungen; Windberechnung.

a) Manometer.

Zur Beaufsichtigung des Hochofenbetriebes sind tägliche öftere Beobachtungen der Windspannung (Pressung) innerhalb der Leitungsröhren erforderlich. Hängt doch von dieser Windspannung unter übrigens gleich bleibenden Verhältnissen die Menge des dem Hochofen zugeführten Windes ab; durch die Windmenge aber ist die Geschwindigkeit der Verbrennung, somit auch der ganze Verlauf des Hochofenschmelzens und die Grösse der Roheisenerzeugung des Hochofens bedingt.

Zum Messen der Windspannung bedient man sich des Manometers.

Im Voraus möge jedoch bemerkt werden, dass eine vollständig genaue Messung der durchschnittlichen Windspannung nicht möglich ist. Einestheils unterliegt bei jedem Cylindergebläse die Windspannung unausgesetzten Schwankungen, wie sich am Manometer selbst erkennen lässt. Anderntheils herrscht an verschiedenen Stellen der Leitung auch eine verschiedene Spannung; sie nimmt unter der Wirkung der von dem Windstrome zu überwindenden Reibung um so mehr ab, je länger der bereits zurückgelegte Weg ist und je grösser und zahlreicher die Widerstände (Krümmungen, Querschnittsverengungen u. a. m.) innerhalb der Leitung sind. Bei Benutzung des Manometers zur Berechnung der Windmenge (siehe unten) muss man es daher in unmittelbarer Nähe der Düse anbringen. Auch innerhalb eines und desselben Querschnitts der Leitung ist indess die Spannung nicht überall gleich; sie ist geringer in der Nähe der Röhrenwand, wo durch die Reibung Spannungsverluste (Abminderung der Bewegungsgeschwindigkeit) hervorgerufen werden, grösser in der Mitte des Querschnitts. Endlich kommt in Betracht, dass durch das in die Leitung eingesenkte Manometerrohr leicht Stauungen, Wirbel in dem Windstrome hervorgebracht werden, welche ebenfalls die Richtigkeit der Messung beeinträchtigen.

Für die Windberechnung vermag daher das Manometer nur Annäherungswerthe zu geben; für die regelmässige Beaufsichtigung des Hochofenbetriebes aber besitzen jene Ungenauigkeiten nur untergeordnete Bedeutung. Hierbei liegt nicht sowohl die Aufgabe vor, in bestimmten Ziffern die Geschwindigkeit oder Menge des eingeblasenen

Windes anzugeben, als vielmehr, allgemein zu prüfen, ob der Hochofen eine gewisse, durch Erfahrung ermittelte regelrechte Windmenge erhalte, die durch einen bestimmten Stand des Manometers angezeigt wird, oder in anderen Fällen diese Windmenge aus besonderen Gründen zu vergrössern oder zu verringern. Für eine derartige allgemeinere Ueberwachung aber bildet das Manometer ein sehr einfaches, auch dem ungebildetsten Arbeiter leicht verständliches Hülfsmittel.

Man pflegt, sofern das Manometer nur für den soeben erwähnten Zweck benutzt werden soll, dessen Rohr so an der Windleitung zu befestigen, dass es rechtwinklig gegen die Achse des Windleitungsrohres gerichtet ist und dass seine Kante mit der Innenwand des letzteren abschneidet. In diesem Falle misst man nur denjenigen Druck, den der Wind gegen die Rohrwand ausübt. Für genauere Messungen — z. B. für eine genauere Berechnung der Windmenge — würde es sich empfehlen, das Manometerrohr an seinem Ende rechtwinklig umzubiegen, es bis zur Mitte des Windleitungsrohres einzuführen und hier so zu stellen, dass es der Windrichtung genau parallel und dem Strome entgegengerichtet ist. Durch Ausziehen des dem Winde zugekehrten Endes zu einer Spitze, über deren conische Seiten der Wind hingleiten kann, würde sich die durch die Stauung des Windes entstehende Unrichtigkeit abmindern lassen.[1]) Dass aber auch bei dieser Stellung des Manometers nur die Spannung an der betreffenden Stelle, nicht die mittlere Spannung innerhalb des ganzen Querschnitts gemessen wird, wurde schon erwähnt.

Dass übrigens das Manometer unmittelbar auf der Windleitung angebracht werde, ist keineswegs erforderlich. Meistens ist es bequemer, es an einer geschützten Stelle der Wand, wo es leicht sichtbar ist, zu befestigen und durch eine Leitung aus schmiedeeisernen Röhren mit der Windleitung zu verbinden. Pressungsverluste innerhalb dieses Rohres können nicht eintreten, da eine Bewegung des Windes innerhalb desselben nicht stattfindet.

Häufig ordnet man zwei Manometer an verschiedenen Stellen der Windleitung an; das eine in der Gebläsestube im Anschlusse an die Leitung für den kalten Wind, ein zweites am Düsenständer. Der Unterschied in der von beiden Manometern angegebenen Spannung ergiebt den Spannungsverlust in der Leitung.

Sofern man das Manometer nur für die allgemeine Beaufsichtigung des Ganges des Gebläses benutzen will, begnügt man sich auch wohl mit dem einen Manometer für den kalten Wind, dessen Herstellung einfacher ist; man verliert aber dadurch auch jede Beurtheilung für den Betrag der Spannungsverluste, welcher für die Ausnutzung der vom Gebläse geleisteten Arbeit von Einfluss ist.

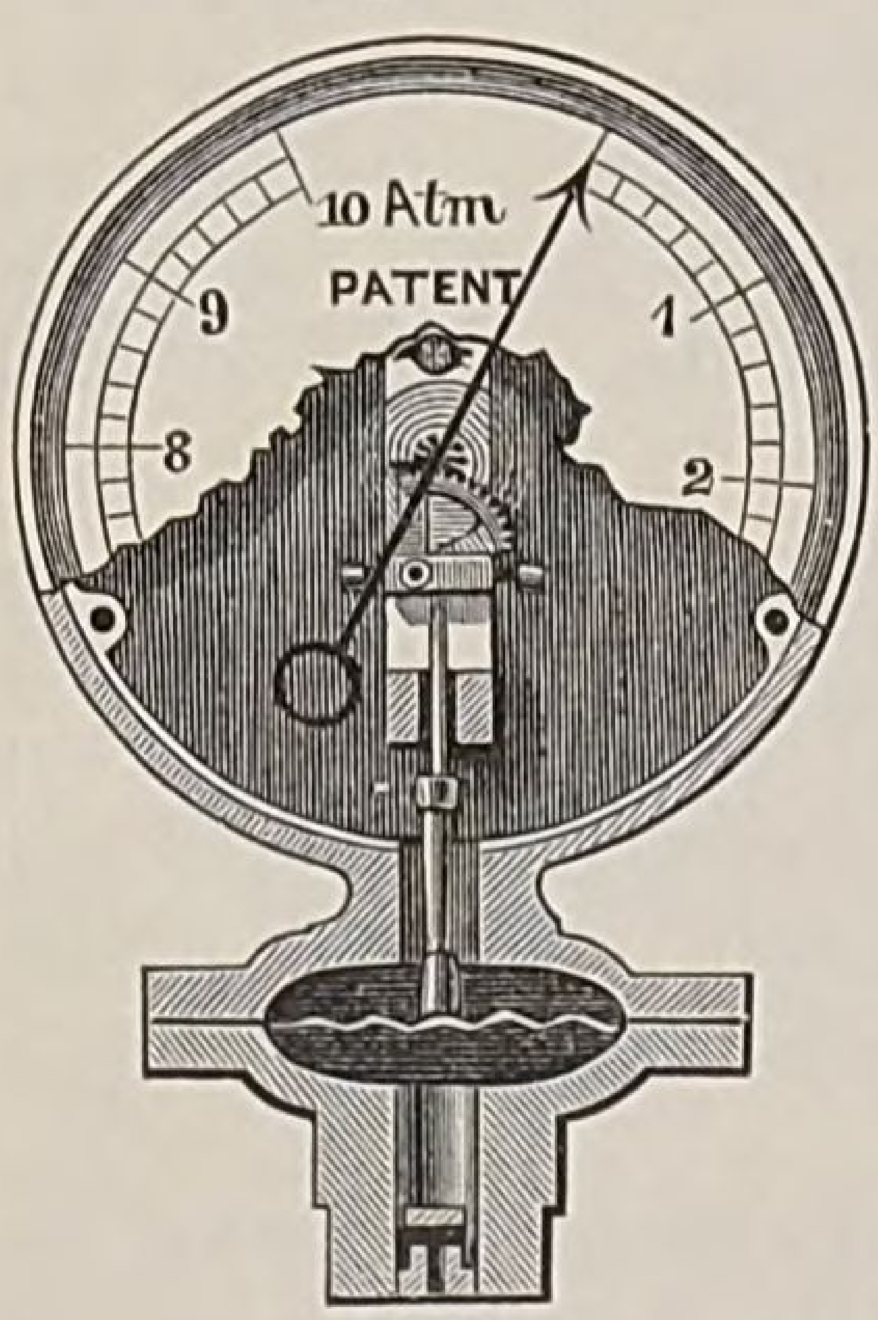
Für die Kaltwindleitung kann man ein Quecksilbermanometer benutzen, bestehend aus einem U-förmig gebogenen, theilweise mit Quecksilber gefüllten Rohre, dessen einer Schenkel mit der Windleitung verbunden ist. Die Höhe, welche die Oberkante der Quecksilbersäule

1) C. Schinz, Studien über den Hochofen zur Darstellung von Roheisen. Seite 83.

in beiden Schenkeln einnimmt, so lange kein Winddruck herrscht, bildet den Nullpunkt; der Unterschied in dem Höhenstande in den beiden Schenkeln, sobald auf das eine Ende der gepresste Wind drückt, ergiebt die Höhe der Quecksilbersäule, welche mit dem vorhandenen Winddrucke im Gleichgewichte steht. An dem offenen Schenkel pflegt man eine Theilung, von dem Nullpunkte beginnend, anzubringen; in Rücksicht auf den Umstand, dass in dem zweiten Schenkel das Quecksilber ebenso tief unter als in dem ersten über dem Nullpunkte steht, muss man, um die wirkliche Spannung zu finden, die abgelesene Höhe über dem Nullpunkte verdoppeln, oder man wählt von vornherein eine solche Theilung, dass man ohne Weiteres den wirklichen Höhenunterschied abliest.[1])

Will man die Windpressung nicht nach der Höhe der Quecksilbersäule, sondern in Kilogrammen auf ein Quadratcentimeter Querschnitt angeben, so lässt sich die Theilung leicht darnach ändern. Eine Quecksilbersäule von 758 mm Höhe übt einen Druck von 1,03 kg auf 1 qcm aus (Atmosphärendruck); 736 mm Gesammthöhe der Quecksilbersäule oder 368 mm über dem Nullpunkte entsprechen also 1 kg Druck, und durch Eintheilung dieser Höhe in Hundertstel lassen sich Ablesungen in ziemlich engen Grenzen bewirken.

Fig. 173.



Häufiger als Quecksilbermanometer, zumal zur Ermittelung der Spannung erhitzten Windes, sind Federmanometer in Benutzung, welche nach denselben Grundsätzen wie die Manometer zur Ermittelung der Dampfspannung bei Dampfkesselanlagen eingerichtet sind. Fig. 173, ein Federmanometer aus der Fabrik von Schäffer & Budenberg in Buckau darstellend, zeigt die innere Einrichtung. Die in dem unteren Theile angebrachte gewellte Plattenfeder wird unter der Spannung des Windes emporgedrückt, wirkt dabei durch Vermittelung der auf ihr befestigten Stange auf einen kleinen Winkelhebel, der hierbei eine entsprechende Drehung ausführt und diese durch ein Getriebepaar auf den ausserhalb der Scala angebrachten Zeiger überträgt.

Da durch anhaltende starke Erhitzung die Feder bald leiden würde, empfiehlt es sich, das Zweigrohr, auf dessen Ende das Manometer befestigt ist, ausreichend lang zu machen, so dass die eingeschlossene Luft kühl bleibt. Eine Beeinträchtigung der Richtigkeit in den Angaben des Manometers wird durch die Abkühlung nicht herbeigeführt, da ja die in dem Zweigrohre befindliche Luft, sie mag kalt oder warm sein, demselben Drucke ausgesetzt bleibt, welcher im Leitungsrohre herrscht.

1) Ist die Theilung z. B. nach Millimetern bewirkt, so würden 5 mm Höhenabstand über dem Nullpunkte 10 mm wirkliche Quecksilberhöhe angeben und demnach mit 10 statt 5 zu berechnen sein u. s. f.

b) Pyrometer.

Nicht minder wichtig als die Messung der Windspannung ist für die Leitung des Hochofenbetriebs die öftere Messung der Windtemperatur, da durch starke Schwankungen der letzteren erhebliche Aenderungen im Verlaufe des Hochofenschmelzens herbeigeführt werden können.

Verschiedene Vorrichtungen sind hierfür in Benutzung.

Häufig bedient man sich eines Calorimeters, gewöhnlich Siemens-Pyrometer genannt, obgleich Siemens nicht als der Erfinder gelten kann. Eine Kugel aus Eisen, besser aus Platin, wird der Einwirkung des heissen Windes ausgesetzt, bis sie dessen Temperatur angenommen hat, dann in das mit Wasser gefüllte Calorimeter geworfen. Besondere Vorrichtungen verhindern die Wärmeverluste durch Abgabe nach aussen und ermöglichen eine rasche Wärmeausgleichung. Sobald diese stattgefunden hat, wird mit Hülfe eines in Zehntelgrade getheilten Thermometers die Temperaturzunahme ermittelt; aus dieser, dem Gewichte des Wassers und der spezifischen Wärme der Metallkugel berechnet man die Temperatur der letzteren vor dem Einwerfen in das Wasser und somit auch die Temperatur des erhitzten Windes. Durch G. Braubach ist diesem Pyrometer eine bequeme Einrichtung gegeben, welche es ermöglicht, die Temperatur ohne Anstellung einer Rechnung sofort abzulesen.[1])

Neuerdings findet man auch ziemlich häufig das zwar kostspieligere, aber in seiner Anwendung noch bequemere elektrische Pyrometer von Le Chatelier in Anwendung. Ein Thermoelement, bestehend aus einem Platindrahte mit einem Rhodium-Platindrahte wird durch den heissen Wind erhitzt, wodurch ein galvanischer Strom erzeugt wird, der durch ein Galvanometer geführt wird. Durch frühere Versuche ist ermittelt worden, welchen Temperaturen eine bestimmte Ablenkung der Nadel des Galvanometers entspricht.[2]) Das erwähnte Thermoelement kann, zumal wenn es durch eine Umhüllung von Porzellan oder Asbest geschützt ist, stetig an seiner Stelle bleiben, so dass man in jedem Augenblicke die Temperatur ablesen kann, ohne besonderer Vorarbeiten zu bedürfen.

Luftpyrometer, z. B. ein von Wiborgh erfundenes,[3]) sind vereinzelt in Anwendung gekommen, haben sich aber ihrer Zerbrechlichkeit halber nicht sehr bewährt. Metallpyrometer, auf der abweichenden Ausdehnung zweier Stäbe aus verschiedenen Metallen beruhend, wurden früher ziemlich häufig benutzt, sind aber unzuverlässig.[4])

1) Das Braubachsche Pyrometer ist beschrieben in „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 207; käuflich bei C. Gerhardt, Marquarts Lager, in Bonn a. Rh. Vergleiche auch „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 572.

2) Näheres über die Einrichtung dieses Pyrometers: Génie civil, t. 10, p. 291; Journal of the Iron and Steel Institute 1891 I, p. 90; 1892 II, p. 33; 1893 I, p. 112 und 252; „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 660.

3) „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 699; 1891, Seite 613.

4) Einen Bericht über vergleichende Versuche hinsichtlich der Verwendbarkeit verschiedener hier nicht genannter Pyrometer findet der Leser in „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 893 (Blass); auch Seite 604 und 606 desselben Jahrganges.

c) Die Windberechnung.

Um ein möglichst deutliches Bild aller bei dem Betriebe eines Hochofens maassgebenden Verhältnisse zu erhalten, kann der Eisenhüttenmann mitunter in die Lage kommen, die Menge des dem Hochofen in bestimmten Zeiträumen (gewöhnlich in der Minute) zugeführten Windes ermitteln zu müssen.

Zur Lösung dieser Aufgabe giebt es verschiedene Wege.

Ein einfaches Verfahren, welches allerdings nur Annäherungswerthe innerhalb ziemlich weiter Grenzen liefert, beruht auf dem Kohlenstoffverbrauche des Hochofens innerhalb der bestimmten Zeit.

Aller Kohlenstoff, welcher vor die Formen des Hochofens gelangt, wird hier durch den Sauerstoff des eingeblasenen Windes zu Kohlenoxyd verbrannt. Da das Verhältniss zwischen dem Sauerstoffgehalte der Gebläseluft zu ihrer Gesammtmenge bekannt ist, würde man, sofern aller dem Hochofen durch die Gicht zugeführte Kohlenstoff auch bis vor die Formen gelangte, mit Leichtigkeit im Stande sein, auf Grund jenes Verhältnisses die Menge der zugeführten Luft zu berechnen. Wenn A den in Kilogrammen ausgedrückten Brennstoffverbrauch des Hochofens in 24 Stunden, p den Kohlenstoffgehalt von 1 kg des benutzten Brennstoffs, Q den Windverbrauch in der Minute bezeichnet, so wäre

$$Q = \frac{A\,p}{320} \text{ Cubikmeter.}$$

Ein Theil des Kohlenstoffs aber wird in jedem Hochofen zur unmittelbaren Reduction der Erze verbraucht, ohne vor die Formen zu gelangen; ein anderer wird durch das Eisen aufgenommen und von diesem wieder aus dem Ofen geführt. Der wirkliche Windverbrauch ist also geringer, und man hat, um einen Annäherungswerth zu erhalten, die obige Ziffer mit einer Verhältnisszahl zu multipliciren, welche bei den meisten Hochöfen zwischen 0,75—0,85 schwankt und durchschnittlich um so niedriger ausfällt, je schwieriger reducirbar die Erze sind.

Ein anderes nicht minder einfaches, aber ebenfalls nur Annäherungswerthe lieferndes Verfahren stützt sich auf die Grösse der Kolbenfläche und der Kolbengeschwindigkeit des Gebläses in der Minute. Sofern das Gebläse stets die volle, seinem Querschnitte entsprechende Windmenge ansaugte und keine Windverluste stattfänden, würde offenbar die gelieferte Windmenge sich ergeben aus der Kolbenfläche mal der Kolbengeschwindigkeit; wegen des vorhandenen schädlichen Raumes sowie der Unvollständigkeit der Wirkung der Verschlussklappen oder Ventile saugen aber die Cylindergebläse niemals die volle, dem Inhalte der Cylinder entsprechende Windmenge an, und ein Theil des angesaugten Windes geht auf dem Wege nach dem Hochofen wieder verloren. Nach v. Hauer[1]) darf man die Nutzleistung des Gebläses sammt Windleitung nicht höher als 0,7 annehmen; beträgt also Q die Windmenge, welche der Hochofen in der Minute erhält, F die Kolbenfläche sämmtlicher zu einander

1) Hüttenwesensmaschinen, Seite 63.

gehöriger Gebläsecylinder in Quadratmetern, G die Geschwindigkeit der Gebläsekolben in der Minute in Metern, so ist

$$Q = 0{,}7\, F \cdot G.$$

Bei mangelhaft ausgeführten oder im Stande erhaltenen Gebläsen oder Windleitungen kann allerdings Q noch erheblich niedriger ausfallen.

Ist die Geschwindigkeit des aus der Düse ausströmenden Windes und der Düsenquerschnitt bekannt, so ist das Ergebniss beider, multiplicirt mit einer durch Erfahrung ermittelten Verhältnisszahl für den Ausfluss, die ausströmende Windmenge von der im Ausflussquerschnitte herrschenden Spannung und Temperatur, und durch entsprechende Umrechnung lässt sich aus dieser die Luftmenge von Null Grad Temperatur und gewöhnlicher Spannung (760 mm Barometerstand) berechnen. Die Geschwindigkeit der austretenden Luft ergiebt sich aus der durch das Manometer gemessenen Windspannung.

Bezeichnet Q die aus einer Düse austretende Windmenge in Cubikmetern in der Minute, umgerechnet auf den angegebenen Barometerstand und Null Grad Temperatur, h_1 die am Manometer abgelesene Windspannung, ausgedrückt durch die Höhe einer Quecksilbersäule in Metern, h_2 die im Ofen vor den Formen herrschende Spannung, ebenso wie h_1 gemessen, d den Durchmesser der Düse in Metern, f eine Verhältnissziffer, welche von der Temperatur des Windes (t_1) und dem Barometerstande b abhängig ist, λ eine Verhältnissziffer, welche wegen des Umstandes nothwendig wird, dass die Luft bei höheren Windspannungen auch ihre Temperatur ändert (bei geringeren Pressungen kann $\lambda = 1$ gesetzt werden), so ist

$$Q = 18\,740\, f \lambda d^2 \sqrt{h_1 - h_2} \text{ Cubikmeter.}$$

Für f gelten folgende Werthe:

$b + h_2$ in Metern Quecksilber	bei einer Windtemperatur von 250	300	350	400	450	500	550 Grad Celsius.
0,80	0,73	0,70	0,67	0,65	0,63	0,60	0,58
0,85	0,75	0,73	0,70	0,67	0,65	0,62	0,60
0,90	0,77	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64	0,62
0,95	0,80	0,77	0,74	0,71	0,68	0,66	0,63
1,00	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70	0,68	0,65
1,05	0,84	0,80	0,77	0,74	0,72	0,69	0,66
1,10	0,86	0,82	0,79	0,76	0,74	0,71	0,68
1,20	0,89	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71
1,30	0,93	0,90	0,86	0,83	0,08	0,77	0,74

Für λ ist zu setzen:

$b + h_2$ in Metern Quecksilber	$h_1 - h_2$ in Metern Quecksilber				
	0,1	0,5	1,0	1,5	2
0,8	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92
1,0	1,00	0,98	0,97	0,95	0,94
1,3	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95

Ausführlichere Tabellen, welche auch im Sonderabdrucke erschienen sind, enthält das schon genannte Buch: J. v. Hauer, Die Hüttenwesensmaschinen, 2. Aufl., S. 509.

Die Berechnung mit Hülfe der mitgetheilten Formel und der erwähnten Tabellen würde ziemlich genaue Ergebnisse liefern, wenn es möglich wäre, die durchschnittlich richtigen Werthe für h_1 und h_2, d. h. für die Windspannung in der Düse und die Gasspannung im Ofen zu ermitteln. Die Gründe, weshalb h_1 nur mit annähernder Richtigkeit gemessen werden kann, wurden schon oben erörtert; noch grösser ist die Schwierigkeit, für h_2 einen richtigen Werth zu finden. Eine Messung mit Hülfe eines in den Ofen geschobenen Rohres, an dessen äusserem Ende das Manometer befestigt ist, liefert zweifelhafte Ergebnisse, da die Gasspannung in einem und demselben Querschnitte des Gestells jedenfalls noch grössere Abweichungen zeigt, als in der Windleitung; ein von Rittinger vorgeschlagenes Verfahren, den Wind aus derselben Düse, welche ihn zuerst in den Ofen führte, dann bei gleicher Anzahl Spiele des Gebläses in die freie Luft ausströmen zu lassen und die Spannung zu messen, um nunmehr ohne Weiteres (da jetzt $h_2 =$ Null ist) die ausgeblasene Windmenge zu berechnen, würde doch, wenn sie richtig ausgeführt werden soll, wenigstens beim Hochofenbetriebe allzu erheblichen Schwierigkeiten begegnen.[1])

Ein letztes Verfahren der Windberechnung, welches allerdings nur ausnahmsweise angewendet werden kann, dann aber die zuverlässigsten Ergebnisse liefern dürfte, stützt sich auf den Umstand, dass der Stickstoff der eingeblasenen Luft unverändert, ohne erheblich vermehrt oder verringert zu werden, in den Gichtgasen wieder gefunden wird. Ist also die Zusammensetzung der letzteren und ihre Menge innerhalb bestimmter Zeiträume bekannt, so lässt sich, da in der atmosphärischen Luft 79 Raumtheile Stickstoff neben 21 Raumtheilen Sauerstoff enthalten sind, mithin 100 Raumtheile Stickstoff 126,5 Raumtheilen atmosphärischer Luft entsprechen, die Menge der eingeblasenen Luft berechnen.

Die Zusammensetzung der Gichtgase wird durch chemische Untersuchung ermittelt; ihre Menge ergiebt sich aus der Menge des Kohlenstoffs, welcher in bestimmten Zeiträumen theils aus dem Brennstoffe, theils aus den kohlensäurehaltigen Erzen und Zuschlägen dem Hochofen zugeführt wurde, nach Abzug der durch das Roheisen aufgenommenen kleinen Menge. Aller nicht vom Roheisen aufgenommene Kohlenstoff findet sich in den Gichtgasen wieder.

Es sei

k_1 der durch den Brennstoff,

k_2 der durch den Kalkstein und durch kohlensäurehaltige Erze dem Hochofen in der Minute zugeführte Kohlenstoff in Kilogrammen;

1) Vergl. C. Schinz, Studien über den Hochofen zur Darstellung von Roheisen, Augsburg 1871, Seite 83.

k_3 der von dem in der Minute erzeugten Roheisen aufgenommene Kohlenstoff, ebenfalls in Kilogrammen,

so entweichen aus der Gicht in der Minute $k_1 + k_2 - k_3$ kg Kohlenstoff. Dieser Kohlenstoff tritt gewöhnlich in drei verschiedenen Verbindungen in den Gichtgasen auf: in der Kohlensäure, dem Kohlenoxyd und dem Kohlenwasserstoff. Kohlensäure enthält 0,2727 ihres eigenen Gewichtes Kohlenstoff, Kohlenoxyd 0,4286, leichtes Kohlenwasserstoffgas 0,75. Aus der Zusammensetzung der Gichtgase ergiebt sich also leicht die Menge Kohlenstoff, welche von jedem der erwähnten Bestandtheile derselben aus der Gicht geführt wird; und da die Gesammtmenge des in der Minute entweichenden Kohlenstoffs nach Obigem $= k_1 + k_2 - k_3$ ist, so lässt sich auch die Menge der in der Minute ausströmenden Gase ermitteln. Aus dem Verhältnisse des Stickstoffs zu der Gesammtmenge der Gichtgase ergiebt sich dann der gesammte in der Minute ausströmende Stickstoffgehalt und aus diesem die Menge der eingeblasenen Luft.

Ein von Stöckmann[1]) gegebenes, dem Betriebe entnommenes Beispiel möge als Erläuterung hierfür dienen.

Bei einem früheren Hochofen des Eisenwerkes Phoenix bei Ruhrort betrug die Zusammensetzung der Gichtgase:

Stickstoff	55,76	Raumtheile oder	54,79	Gewichtstheile
Kohlensäure	9,99	„ „	15,42	„
Kohlenoxyd	24,88	„ „	24,45	„
Kohlenwasserstoff CH_4 .	0,40	„ „	0,22	„
Wasserstoff	0,97	„ „	0,07	„
Wasserdampf	8,00	„ „	5,05	„
	100,00	Raumtheile oder	100,00	Gewichtstheile.

Mithin enthalten die Gase Kohlenstoff:

in der Kohlensäure . . .	15,42 · 0,2727 =	4,21	Gewichtstheile
in dem Kohlenoxyd . . .	24,45 · 0,4286 =	10,48	„
in dem Kohlenwasserstoff .	0,22 · 0,75 =	0,17	„
	Summa	14,86	Gewichtstheile

und 1 kg des in den Gichtgasen enthaltenen Kohlenstoffs vertheilt sich folgendermaassen auf die einzelnen Bestandtheile der Gichtgase:

Kohlensäure	0,283 kg
Kohlenoxyd	0,705 „
Kohlenwasserstoff	0,012 „
	1,000 kg

Bei einer täglichen Roheisenerzeugung des Hochofens von 40000 kg, einem Koksverbrauche von 1300 kg auf 1000 kg Roheisen und einem Kohlenstoffgehalte der Koks von 77 v. H. beträgt die durch den Brennstoff dem Hochofen in 24 Stunden zugeführte Kohlenstoffmenge 40040 kg.

Die Erze sind frei von Kohlensäure. Der Kohlensäuregehalt des Kalksteines beträgt 43 v. H. oder der Kohlenstoffgehalt 11,73 v. H.; der tägliche Verbrauch an Kalkstein beziffert sich auf 48000 kg. Demnach ist die Menge des durch den Kalkstein dem Hochofen in 24 Stunden zugeführten Kohlenstoffs 5630 kg.

1) C. Stöckmann, Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, Ruhrort 1876, Seite 35.

Das erzeugte Roheisen enthält 4 v. H. Kohle; mithin beträgt die Gesammtmenge des in 24 Stunden von dem Roheisen aufgenommenen Kohlenstoffs $40\,000 \cdot 0{,}04 = 1600$ kg.

In den Gichtgasen werden also in 24 Stunden $40\,040 + 5630 - 1600 = 44\,070$ kg Kohlenstoff aus dem Ofen geführt.

Der oben mitgetheilten Vertheilung des Kohlenstoffs auf die einzelnen Gasarten gemäss würde man berechnen können, wie viel Gesammtkohlenstoff in 24 Stunden auf jedes dieser Gase entfällt; es genügt indessen, die Ermittelung für eins der Gase anzustellen und dann aus dem Gehalte des letzteren in dem Gasgemische die Menge des letzteren zu berechnen.

So z. B. entfällt, da nach den obigen Ziffern von je 1 kg Gesammtkohlenstoff 0,705 kg im Kohlenoxyd auftreten, auf dieses letztere Gas eine Kohlenstoffmenge in 24 Stunden $= 44\,070 \cdot 0{,}705 = 31\,069$ kg.

Diese 31 069 kg Kohlenstoff sind enthalten in 72 494 kg Kohlenoxyd, welche, da 1 cbm Kohlenoxyd 1,25456 kg wiegt, einen Rauminhalt von 58 000 cbm einnehmen. Da nun die Gichtgase der mitgetheilten Zusammensetzung gemäss 24,88 Raumtheile Kohlenoxydgas in 100 Raumtheilen enthalten, beträgt die gesammte in 24 Stunden der Gicht entströmende Gasmenge 233 120 cbm, oder

$$\text{in der Minute } \frac{233\,120}{24 \cdot 60} = 162 \text{ cbm.}$$

Diese 162 cbm Gas enthalten 55,76 v. H. oder 90 cbm Stickstoff, welche unverändert durch den Ofen hindurchgehen. 90 cbm aber entsprechen 114 cbm Luft, welche dem Hochofen durch das Gebläse in der Minute zugeführt wurden.

Der Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft kann seiner Geringfügigkeit halber bei dieser Rechnung vernachlässigt werden, ohne dass das Ergebniss dadurch erheblich an Richtigkeit einbüsst.

Das Verhältniss der in der Minute gelieferten Windmenge zum Rauminhalte des Ofens pflegt 1,0 bis 1,4 zu betragen. Die erforderliche Arbeit der Betriebsmaschine zum Ansaugen, Fortführen und Verdichten des Windes hängt zwar in jedem einzelnen Falle von den besonderen Verhältnissen, insbesondere der Windspannung, ab und lässt sich nach den Formeln der Maschinenlehre aus Windspannung, Windmenge und Nutzleistung der Betriebsmaschine berechnen, beträgt aber nach v. Ihering durchschnittlich $^6/_7$ Pferdestärke für je 1 cbm in der Minute angesaugten Windes.[1]) Mit Hülfe dieser Verhältnisszahlen lässt sich immerhin eine vorläufige Veranschlagung der für einen Hochofen von gegebenem Rauminhalte erforderlichen Windmenge und des erforderlichen Arbeitsverbrauchs anstellen.

Litteratur.

a) Einzelne Werke.

Julius v. Hauer, Die Hüttenwesensmaschinen. Zweite Auflage. Leipzig 1876. S. 1—202. (Gebläse und Windleitung.)

1) A. v. Ihering, Die Gebläse, Seite 89.

J. Schlink, Ueber Gebläsemaschinen. Sonderabdruck aus Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen. Berlin 1880.

L. Gruner, Abhandlungen über Metallurgie; übersetzt von Franz Kupelwieser. Paris 1877. Bd. 1, S. 317—333 (Gebläse), S. 346—366 (Windleitungen und Windberechnung), S. 368—421 (Winderhitzer). Theilweise veraltet.

A. v. Ihering, Die Gebläse. Berlin 1893.

H. Wedding, Zweiter Ergänzungsband zum Handbuch der Eisenhüttenkunde. Braunschweig 1887. S. 185—244 (Gebläse und Winderhitzer).

b) Abhandlungen.

Ueber Gebläse.

R. Volkmann, Zwillingsmaschine für die Hochöfen der Pennsylvania Steel Co. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1891, S. 457.

Eine amerikanische Normalgebläsemaschine für Hochofenbetrieb. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 465.

A. v. Ihering, Ueber die Constructionsverhältnisse der Gebläsemaschinen Rheinland-Westfalens, Oberschlesiens und Oesterreich-Ungarns. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 1022.

A. v. Ihering, Amerikanische Gebläsemaschinen. Jahrbuch der k. k. Bergakademieen, Bd. 42 (1894), S. 177.

Nockher, Stehende Verbund-Hochofen-Gebläsemaschine. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 132.

Hochofen-Gebläsemaschinen in Krompach. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 929; auch Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1898, S. 1153.

Ueber Winderhitzer und Windleitung.

Sexton, Ueber die Erfindung der Winderhitzung. „Stahl und Eisen“ 1895, S. 509.

L. Gruner, Notice sur les appareils à air chaud. Annales des mines, série 7, tome 2, p. 305. (Besprechung älterer Winderhitzer.)

Wiebner, Ueber die Wirksamkeit der neuen eisernen Winderhitzungsapparate auf Gleiwitzer Hütte. Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preuss. Staate 1882, S. 178.

F. W. Lürmann, Ueber Winderhitzungsapparate. Vortrag, gehalten in der Hauptversammlung des Vereins deutscher Eisenhüttenleute. „Stahl und Eisen“ 1883, S. 23.

F. W. Lürmann, Verschiedene Steinausfüllungen für Winderhitzer. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 484.

F. W. Lürmann, Verbesserung an Cowper-Apparaten. „Stahl und Eisen“ 1889, S. 774.

F. W. Lürmann, Die Entwickelung der Ausmauerung steinerner Winderhitzer. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 766.

F. W. Lürmann, Steinerne Winderhitzer. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 568.

F. W. Lürmann, Steinformen für die Wärmespeicher steinerner Winderhitzer. „Stahl und Eisen“ 1896, S. 907.

C. Steffen, Beitrag zur Frage der Winderhitzungsapparate. „Stahl und Eisen“ 1883, S. 241.

E. A. Cowper, On recent improvements in Cowper-hot-blast-fire-brick-stoves. Journal of the Iron and Steel Institute 1883, p. 576; daraus in „Stahl und Eisen“ 1883, S. 360, 611.

Neuer steinerner Winderhitzer. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 622.

H. Kennedys steinerner Winderhitzer. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 186.

C. Th. Jung, Neuerungen im Hochofenbetriebe. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 174.

F. Braune, Die Winderwärmung an den Hochöfen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1898, S. 1013.

Léon François, Neue Verbindungsart von Winderhitzern. „Stahl und Eisen" 1898, S. 365; aus den Mémoires de l'Union des Ingénieurs de Louvain 1898.

Kühlung der Heisswindschieber durch Gebläsewind. „Stahl und Eisen" 1894, S. 818, 836.

W. Colquhoun, On a new water-cooled hot-blast-valve. Journal of the Iron and Steel Institute 1896 II, p. 203.

H. Dornbusch, Ueber Düsenvorrichtungen bei Hochöfen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 21, S. 103.

Ueber neuere Düsenstöcke. Dinglers polyt. Journal, Bd. 264, S. 216.

Neuer Düsenstock von Lürmann. „Stahl und Eisen" 1890, S. 692.

Ueber Temperaturmessungen.

Elektrische Pyrometer. „Stahl und Eisen" 1892, S. 656.

C. Gaab, Ueber Pyrometer, insbesondere das Walther Dürrsche Pyrometer. „Stahl und Eisen" 1894, S. 432.

F. W. Lürmann, Pyrometer. „Stahl und Eisen" 1895, S. 333.

G. Braubach, Düsencalorimeter. „Stahl und Eisen" 1896, S. 572.

H. Wedding, Die Anwendung des Le Chatelier-Heräusschen Thermometers für das Eisenhüttenwesen. „Stahl und Eisen" 1896, S. 660.

S. Wiborgh, Thermophon. Dinglers polyt. Journal, Band 301, S. 133.

Messung hoher Temperaturen. Dinglers polyt. Journal, Bd. 303, S. 39.

IV. Die Gichtaufzüge.

a) Erläuterungen.

Nur in seltenen Fällen ist die Lage eines Hochofens eine solche, dass man im Stande ist, die mit Erzen, Zuschlägen oder Brennstoffen beladenen Karren von einem entsprechend hoch gelegenen Lagerplatze aus ohne Weiteres über eine Brücke nach der Gicht zu befördern. Häufiger ist man genöthigt, eine mechanische Hebevorrichtung anzuordnen, mit deren Hülfe jene Karren emporgehoben und nach bewirkter Entleerung wieder herabgelassen werden.

Diese Hebevorrichtung heisst der Gichtaufzug.

Zur Aufnahme der erwähnten Karren oder sonstigen Fördergefässe dient in der Regel eine entsprechend grosse Plattform oder Förderschale, welche gehoben und gesenkt wird. Einzelne Gichtaufzüge besitzen nur eine einzige derartige Förderschale, so dass abwechselnd nur Aufgang oder nur Niedergang stattfinden kann, und heissen einfachwirkend; andere sind mit zwei Förderschalen versehen, von denen die eine steigt, während die andere sinkt, und diese heissen doppeltwirkende Aufzüge.

Die Bewegung erfolgt in der Regel in senkrechter Richtung. Die Förderschale bewegt sich dabei zwischen senkrechten Führungen und das Ganze ist in einem aus schmiedeeisernem Gitterwerk hergestellten Fördergerüste angeordnet. Gemauerte Gichtthürme, mit denen man früher den Aufzug umgab, sind nicht mehr üblich. Das Fördergerüst

steht seitlich neben dem Hochofen und ist mit der Gichtbühne durch eine eiserne Brücke verbunden.

Schrägstehende Förderbahnen, gewöhnlich mit einer Neigung von etwa 60° gegen die Gicht des Ofens gestellt, sind insbesondere bei amerikanischen Hochofenanlagen zur Anwendung gekommen. Liegt der Stürzplatz für die zu fördernden Körper unweit vom Hochofen, so kann man ihn durch die schräge Förderbahn unmittelbar mit der Gichtbühne verbinden, also die Beförderung auf der Ebene bis zum senkrechten Fördergerüst und von diesem oben bis zur Gichtbühne entbehrlich machen; gewöhnlich versieht man in diesem Falle den Aufzug auch mit selbstthätig wirkender Entleerungsvorrichtung. Einiges Nähere hierüber unter b.

Während man noch in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts, als die Hochöfen erheblich niedriger und ihre Erzeugung erheblich geringer war als jetzt, sich mitunter eines durch Menschenkraft betriebenen Haspels zur Bewegung der Förderschale bediente, wird jetzt fast ausnahmslos Dampfkraft, vereinzelt Wasserkraft für diesen Zweck benutzt. Verschieden aber ist die Art und Weise, in welcher diese Kraft für die Bewegung des Gichtaufzuges nutzbar gemacht wird, und man unterscheidet demnach mehrere Gattungen von Gichtaufzügen, von denen die wichtigsten in Folgendem kurz besprochen werden sollen.

b) Gichtaufzüge mit unmittelbarer Seilbewegung.

Diese Gichtaufzüge sind am häufigsten in Anwendung und meistens doppeltwirkend. Die Förderschalen hängen an Drahtseilen, welche oberhalb der Gicht über eine oder zwei Seilscheiben geschlungen sind. Durch abwechselnde Bewegung der Seilscheiben in der einen oder andern Richtung erfolgt Auf- und Niedergang der Scheiben.

Meistens werden diese Aufzüge durch eine Dampfmaschine betrieben. Bei kleinen Hochöfen mit langsamem Gichtenwechsel legt man die zum Betriebe des Aufzuges bestimmte Dampfmaschine auf die Gichtbühne und lässt die Gichtarbeiter selbst die Bedienung der Maschine übernehmen, ohne dass ein besonderer Maschinenwärter dafür erforderlich ist. Die Dampfmaschine ist mit Umsteuerungsvorrichtung versehen und treibt durch Vermittelung von Lenkstange und Kurbel eine Seilscheibe, über welche das zum Tragen der beiden Förderschalen dienende Seil gelegt ist.

Dampfmaschinen für den Betrieb grösserer Hochöfen dagegen, welche eine entsprechend grössere Leistungsfähigkeit besitzen und grössere Abmessungen verlangen, lassen sich nicht wohl auf der Gichtbühne des Hochofens anordnen, sondern müssen zu ebener Erde ihre Aufstellung erhalten. Die Bewegungsübertragung von hier kann in verschiedener Weise bewirkt werden.

Nicht selten findet man in diesen Fällen Gichtaufzüge, welche nach Art der Fördermaschinen für Bergwerke eingerichtet sind. Eine liegende Zwillingsdampfmaschine ohne Schwungrad, in einem seitlich vom Förderungsgerüste errichteten Maschinenhause aufgestellt, treibt zunächst eine ebenfalls unten liegende Seiltrommel, von welcher aus zwei sich in entgegengesetzter Richtung auf- und abwickelnde Seile schräg aufwärts über zwei auf dem Scheitel des Fördergerüstes

gelagerte Seilscheiben geführt sind. An den entgegengesetzten Enden der Seile hängen die Förderschalen.

Die beschriebene Anordnung ist jedoch ziemlich kostspielig und schwerfällig. In neuerer Zeit hat man diese Aufzüge in zahlreichen Fällen durch eine einfachere, von der Firma Ehrhardt & Sehmer in Saarbrücken eingeführte Einrichtung ersetzt, bei welcher der Hub des Dampfkolbens durch Vermittelung eines Flaschenzuges auf das Seil übertragen wird, so dass ein einziger Kolbenhub ausreicht, die Förderschale von dem Boden zur Gicht oder umgekehrt zu bewegen. Die Abbildung Fig. 174 und 175 zeigt die Einrichtung eines solchen Aufzugs. *a* ist der Dampfcylinder, dessen Kolbenstange den zwischen Geradführungen bewegten Flaschenzug *b* mit vierfacher Uebersetzung trägt. *c*, *d* und *e* sind feste Rollen. Zwei Drahtseile vermitteln die Bewegungsübertragung. Das Ende des einen Seils ist am Dampfcylinder befestigt, wie in Fig. 175 erkennbar ist. Das Seil geht über die eine der beiden unteren Rollen des Flaschenzugklobens, dann über die Rolle *d* unterhalb des Dampfcylinders, von hier aufwärts über die zweite untere Flaschenzugrolle, schliesslich über die Rolle *e* und dann nach oben, wo es an dem Boden der Förderschale *f* befestigt ist. Steigt also der Kolben, so wird diese Schale abwärts gezogen. Zur Ermöglichung der Aufwärtsbewegung hängt sie an einem zweiten Seile, welches über die beiden oberen Rollen des Flaschenzugklobens sowie über die feste Rolle *c* geführt und mit seinem anderen Ende an dem Lagerstuhle von *c* befestigt ist. Dieses Seil zieht die Schale hoch, wenn der Kolben abwärts geht. Die zweite Förderschale wird von der ersten aus durch Vermittelung eines an deren Kopfe befestigten und über die Seilrolle *h* geführten Seils bewegt, so dass sie die entgegengesetzte Bewegung wie jene ausführt.

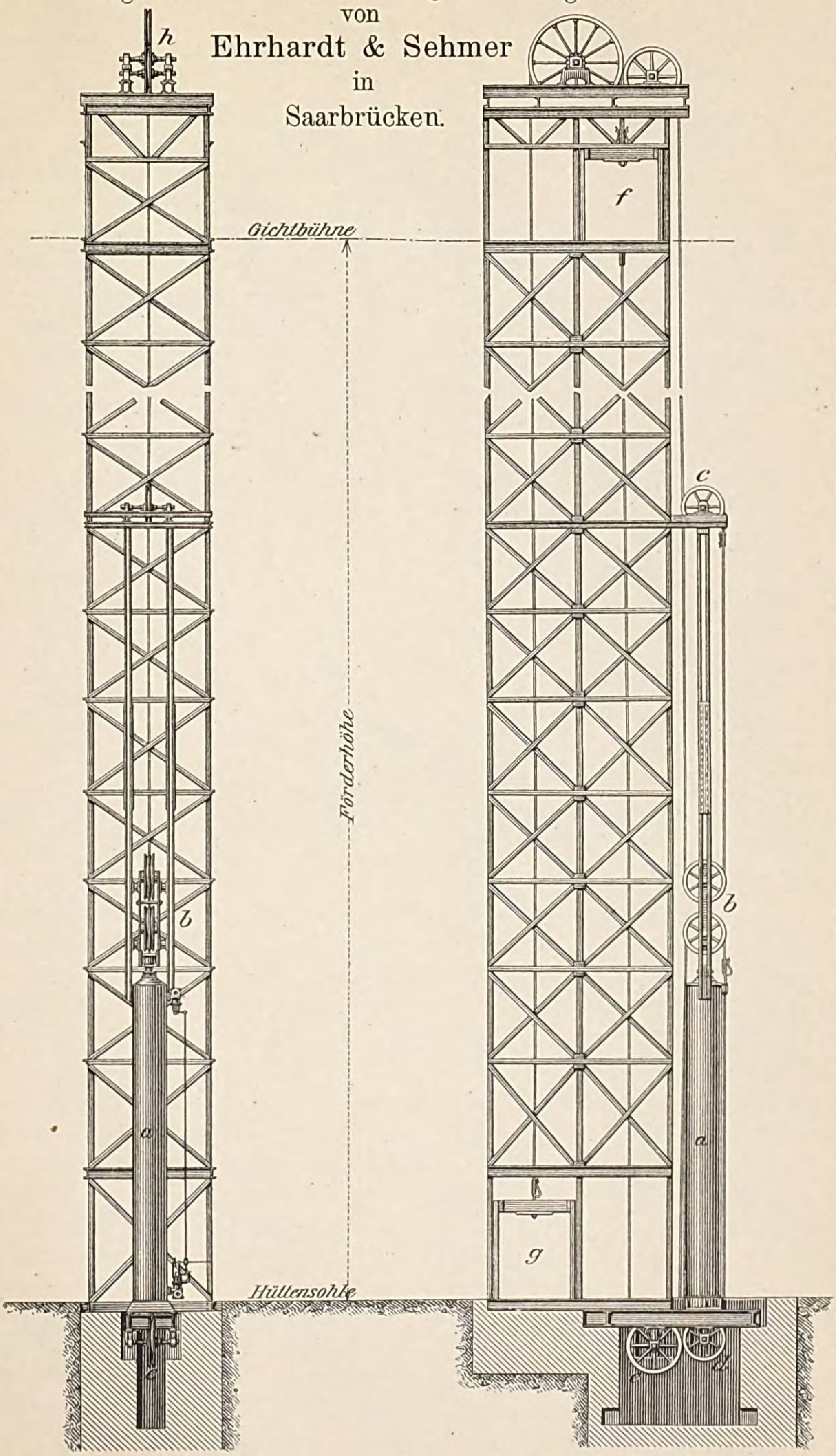
Da der Dampf zum Betriebe dieser Aufzüge ohne Expansion arbeitet, ist der Dampfverbrauch etwas grösser als bei Expansionsmaschinen; aber der Unterschied ist nicht erheblich, weil der Aufzug nicht ununterbrochen, sondern nur während beschränkter Zeiträume in Thätigkeit ist. Der Nachtheil wird durch die einfachere Einrichtung reichlich aufgewogen.

Zu dieser Gattung der Gichtaufzüge gehören auch die schon erwähnten mit geneigter Bahn und selbstthätiger Entleerung. Sie sind in der Regel einfachwirkend. Als ein Beispiel kann die in Fig. 176 gezeichnete Vorrichtung dienen. Die beiden Räderpaare des zur Hinaufbeförderung dienenden, vorn offenen oder nur durch eine Klappe geschlossenen Wagens *a* haben verschiedene Spurweite und laufen demnach auf zwei verschiedenen Gleisen, welche auf dem Fördergerüst *b* befestigt sind. Das für die Vorderräder bestimmte schmalere Gleis ist oberhalb der Gicht wagerecht gebogen und führt bis über die Gichtöffnung; das für die Hinterräder bestimmte breitere Gleis behält seine aufsteigende Richtung bei. Durch einen bügelförmigen, an dem hinteren Theile des Wagens befestigten Kloben ist der Wagen an ein Drahtseil angeschlossen, welches oben über eine Seilscheibe geht und mit seinem anderen Ende an einer zu ebener Erde befindlichen Seiltrommel befestigt ist. Eine Dampfmaschine mit Vorrichtung zum Umsteuern treibt die Seiltrommel. Wenn der Wagen in der Höhe an-

Gichtaufzug
von
Ehrhardt & Sehmer
in
Saarbrücken.

Fig. 174.

Fig. 175.



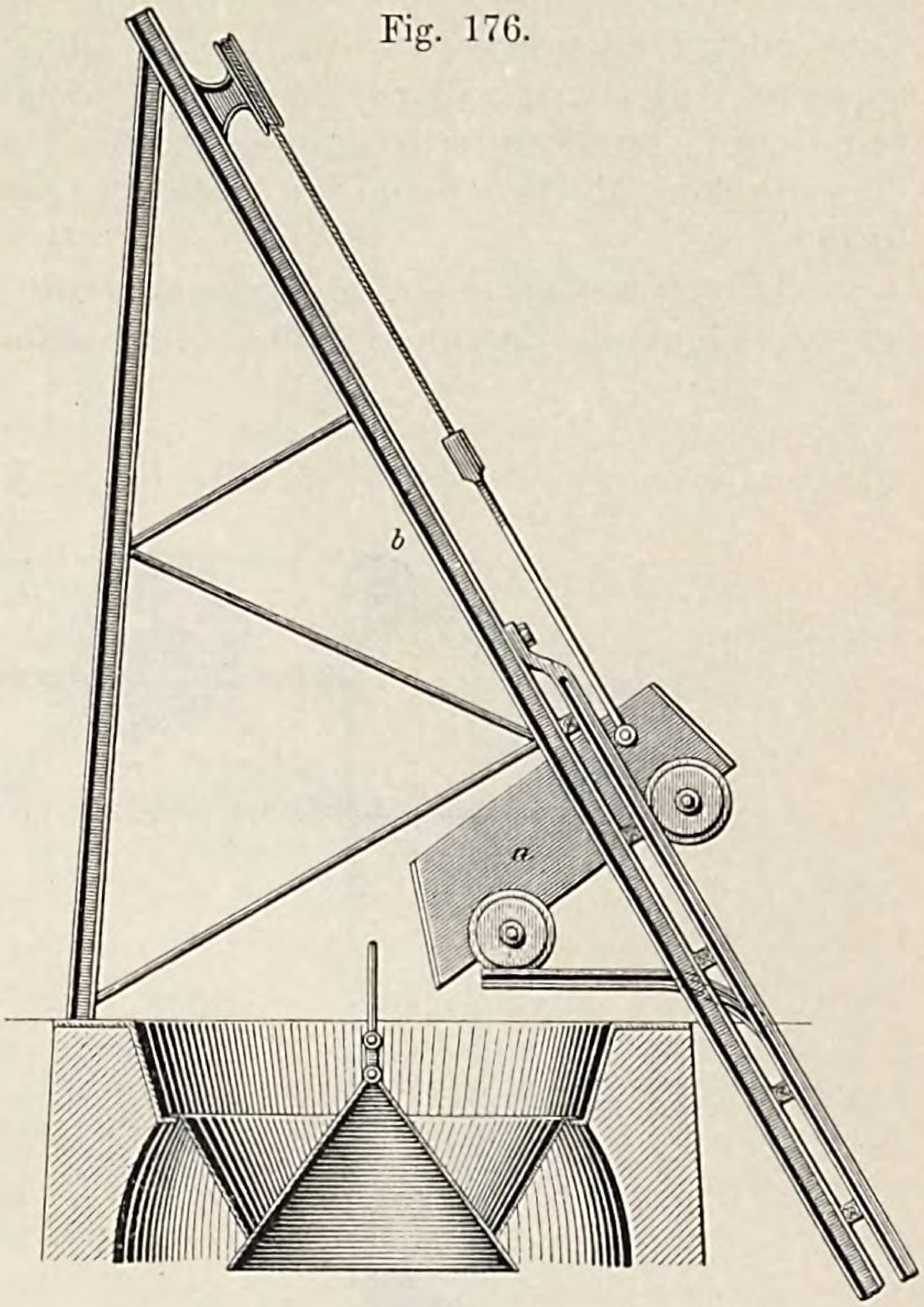
Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

gekommen ist, nimmt er die gezeichnete Stellung an und wird entleert; wenn umgesteuert wird, rollt er von selbst zurück.[1])

Befindet sich der Lagerplatz in grösserer Entfernung vom Hochofen, so hat man bisweilen auch Drahtseilbahnen in Anwendung gebracht, welche die Fördergefässe bis auf die Gichtbühne befördern, so dass ein eigentlicher Aufzug entbehrlich wird.[2])

Fig. 176.



c) Wassertonnenaufzüge.

Diese Aufzüge sind stets doppeltwirkend. Beide Schalen hängen an den Enden eines über eine Seilscheibe oberhalb der Gicht gelegten Seiles. Unter jeder Förderschale befindet sich ein aus Eisenblech gefertigtes Wassergefäss, welches auf der Gicht mit Wasser gefüllt wird. Durch das hierbei entstehende Uebergewicht wird die oben befindliche, mit den entleerten Gichtkarren belastete Schale zum Niedergange gebracht, während die unten mit den gefüllten Karren beladene Schale steigt. Sobald die sich abwärts bewegende Schale unten angekommen ist, öffnet sich selbstthätig ein in ihrem Boden angebrachtes Ventil, und das als Füllung dienende Wasser strömt aus.

Die Skizze Fig. 177 lässt diese Einrichtung erkennen. *B* und *C* sind die beiden Förderschalen, durch ein über die Scheibe *A* gelegtes Seil verbunden, *D* und *E* sind Wasserbehälter zur Zuleitung des Wassers, welches nach dem Oeffnen der Hähne *d* oder *e* durch eine Oeffnung in dem Deckel des Wassergefässes einströmt, *b* und *c* sind die erwähnten Ventile, welche unten durch Aufstossen auf die Stifte *KK* geöffnet werden und das Wasser abfliessen lassen.

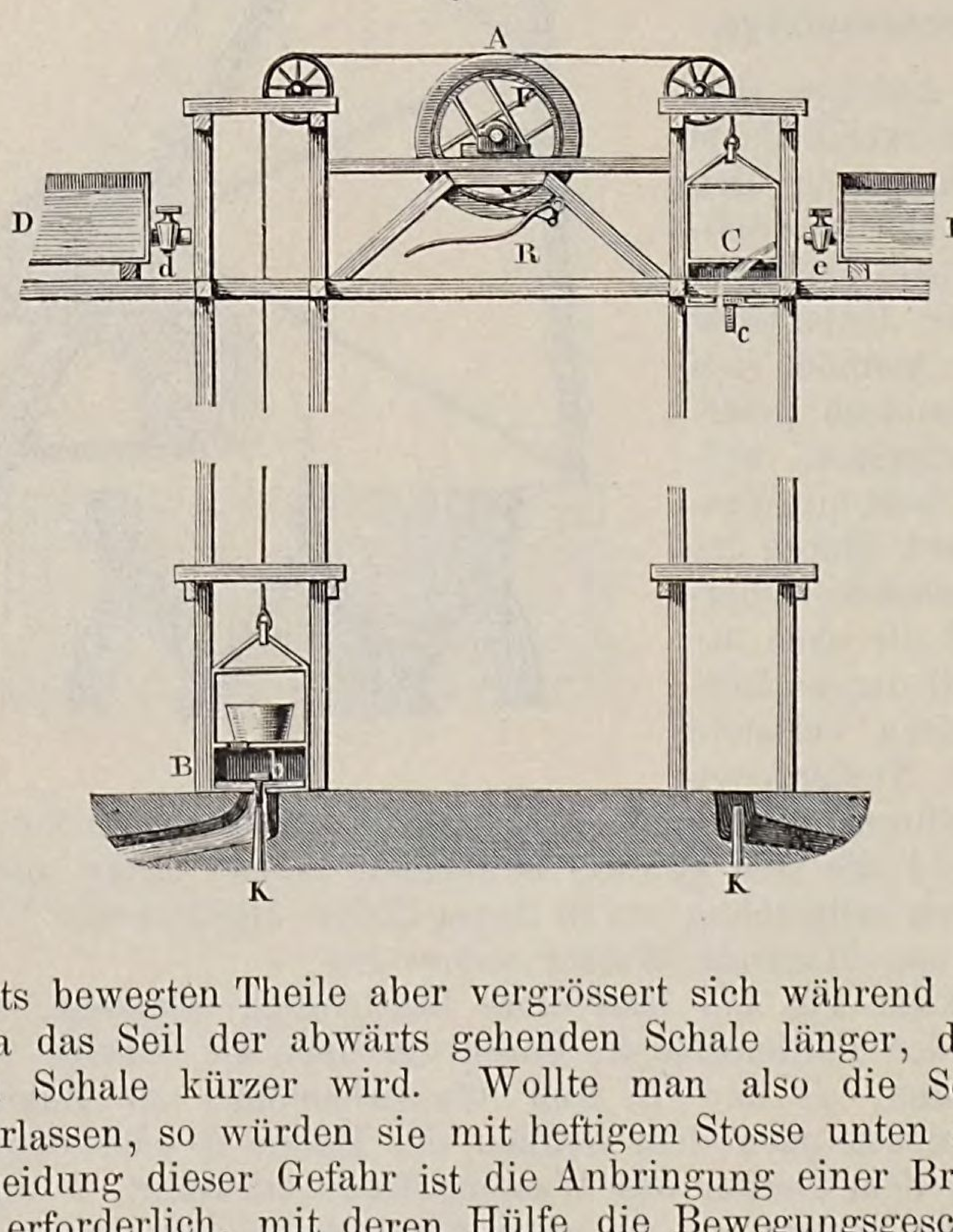
1) Sonstige Beispiele derartiger Vorrichtungen: „Stahl und Eisen" 1887, Seite 695 (aus Iron Age vom 21. Juli und 1. September 1887); 1891, Seite 465 (Gichtaufzug in Thomas, Alabama); 1897, Seite 291 (Gichtaufzug zu Duquesne; aus Iron Age); 1897, Seite 635 (aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers 1897); 1898, Seite 855 (Gichtaufzug zu Lorain; nach dem Engineering and Mining Journal vom 13. August 1898).

2) Beispiel: Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1888, Seite 1045 (Hochofenanlage zu Rümelingen).

Ein gewisses Uebergewicht an Wasser ist erforderlich, um die erste Bewegung hervorzubringen; ausserdem ist es zur Ueberwindung der Reibungswiderstände nothwendig, dass eine etwas grössere Wassermenge von dem Gefässe aufgenommen werde, als der zu hebenden Last allein entsprechen würde. Man pflegt die Gefässe daher doppelt so gross zu fertigen, als zur einfachen Gewichtsausgleichung nothwendig sein würde, und unterbricht den Zufluss des Wassers, sobald man an dem Rucken der Schale merkt, dass ein genügendes Uebergewicht vorhanden ist.

Den Gesetzen des Falls gemäss tritt während des Niederganges eine zunehmende Beschleunigung der Geschwindigkeit ein. Das Gewicht

Fig. 177.



der abwärts bewegten Theile aber vergrössert sich während des Niederganges, da das Seil der abwärts gehenden Schale länger, das der aufsteigenden Schale kürzer wird. Wollte man also die Schalen sich selbst überlassen, so würden sie mit heftigem Stosse unten aufschlagen. Zur Vermeidung dieser Gefahr ist die Anbringung einer Bremse *R* (in Fig. 177) erforderlich, mit deren Hülfe die Bewegungsgeschwindigkeit geregelt werden kann. Auch bei den grössten Hochöfen pflegt die Zeitdauer eines Aufganges nicht über 3 Minuten zu betragen, da erst gegen Ende des Hubes jene Abminderung der Beschleunigung nothwendig wird.

Damit aber die auf der Gicht angelangte noch belastete Schale nicht etwa ohne Weiteres sich wieder abwärts bewege, wenn aus der unten befindlichen Schale das Wasser ausfliesst, muss eine selbstthätig wirkende Feststellung für die jedesmal oben befindliche Schale eingerichtet werden. Sie kann aus einem Riegel bestehen, welcher beim

Aufsteigen der Schale von dieser selbst zur Seite geschoben wird, um den Weg frei zu lassen, durch Vermittelung einer Feder oder eines Gegengewichtes aber unter die Schale geschoben wird, sobald diese oben angekommen ist. Ein Handhebel oder eine sonstige einfache Vorrichtung dient zum Zurückziehen, wenn die Schale frei werden soll.

Wendet man zum Füllen der auf der Gicht befindlichen Wasserbehälter eine Druckpumpe an, welche unausgesetzt Wasser empor befördert, so genügt eine verhältnissmässig geringe Kraftleistung, um die für den Betrieb des Aufzuges wiederkehrend erforderlichen Wassermengen in den Behältern anzusammeln. Die Druckpumpe kann von der Gebläsemaschine mit betrieben werden, und die Anlage einer besonderen Betriebsmaschine für den Aufzug wird entbehrlich. Noch einfacher gestaltet sich die Anlage, wenn man — wie es in gebirgigen Gegenden mitunter der Fall ist — ein natürliches Gefälle zur Zuleitung des Wassers benutzen kann.

Hierin liegt der Hauptvortheil der Wassertonnenaufzüge. Sie erfordern geringe Anlagekosten, geringe Betriebskosten und sind leicht zu bedienen, so dass auch ein gewöhnlicher Arbeiter befähigt ist, ihre Wartung zu übernehmen.

Ein Nachtheil dagegen tritt häufig bei Frostwetter zu Tage. Die zur Gicht hinaufführenden Wasserleitungsröhren frieren leicht ein, zerspringen wohl gar durch Einwirkung des Frostes und müssen sorgfältig geschützt werden; auch der zur Ableitung des verbrauchten Wassers dienende Kanal kann, wenn er lang ist und geringes Gefälle besitzt, durch Eisbildung verstopft werden. Je länger die Wasserleitung, je höher also der Hochofen, und je kälter das Klima ist, desto leichter wird die Brauchbarkeit des Gichtaufzugs hierdurch geschädigt. Aus diesem Grunde bringt man bei neueren Anlagen die Wassertonnenaufzüge, welche in früherer Zeit zu den am häufigsten benutzten Gichtaufzügen bei Hochofenanlagen zählten, nur noch verhältnissmässig selten zur Anwendung.

d) Wasserdruckaufzüge.

Diese Aufzüge sind einfach wirkend und in der Jetztzeit bei Hochöfen kaum noch in Benutzung.

In einem senkrecht stehenden Cylinder wird durch Wasserdruck ein Kolben mit nach oben gerichteter Kolbenstange bewegt, auf deren oberem Ende die Förderschale befestigt ist, so dass sie mit dem Kolben gehoben und gesenkt wird. Das Anheben erfolgt durch Zuleitung von Druckwasser unter den Kolben, der Niedergang durch das eigene Gewicht des Kolbens nebst Förderschale, sobald dem für den Aufgang benutzten Wasser durch Oeffnen eines Hahnes oder Ventiles Auslass verschafft ist.

Der Treibcylinder des Wasserdruckaufzuges muss demnach eine Höhe gleich der Förderhöhe besitzen und in einem Schachte unterhalb der Hüttensohle seinen Standort erhalten. Hierdurch wird die ganze Anlage sehr schwerfällig und kostspielig, und dieser Uebelstand wächst mit der Höhe des Ofens. Durch Einschaltung eines Flaschenzuges, wie bei dem in Fig. 174 und 175 abgebildeten Dampfaufzuge, würde

Fig. 178.

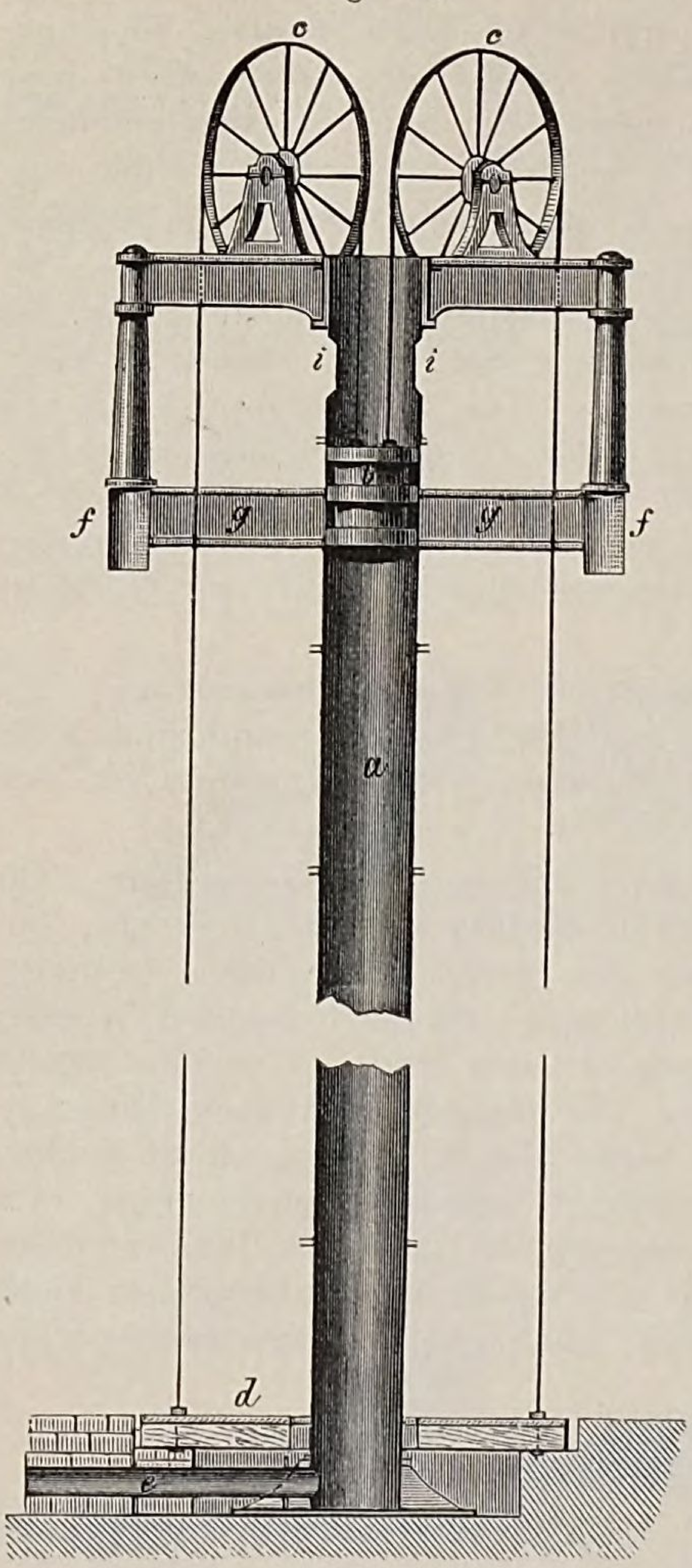
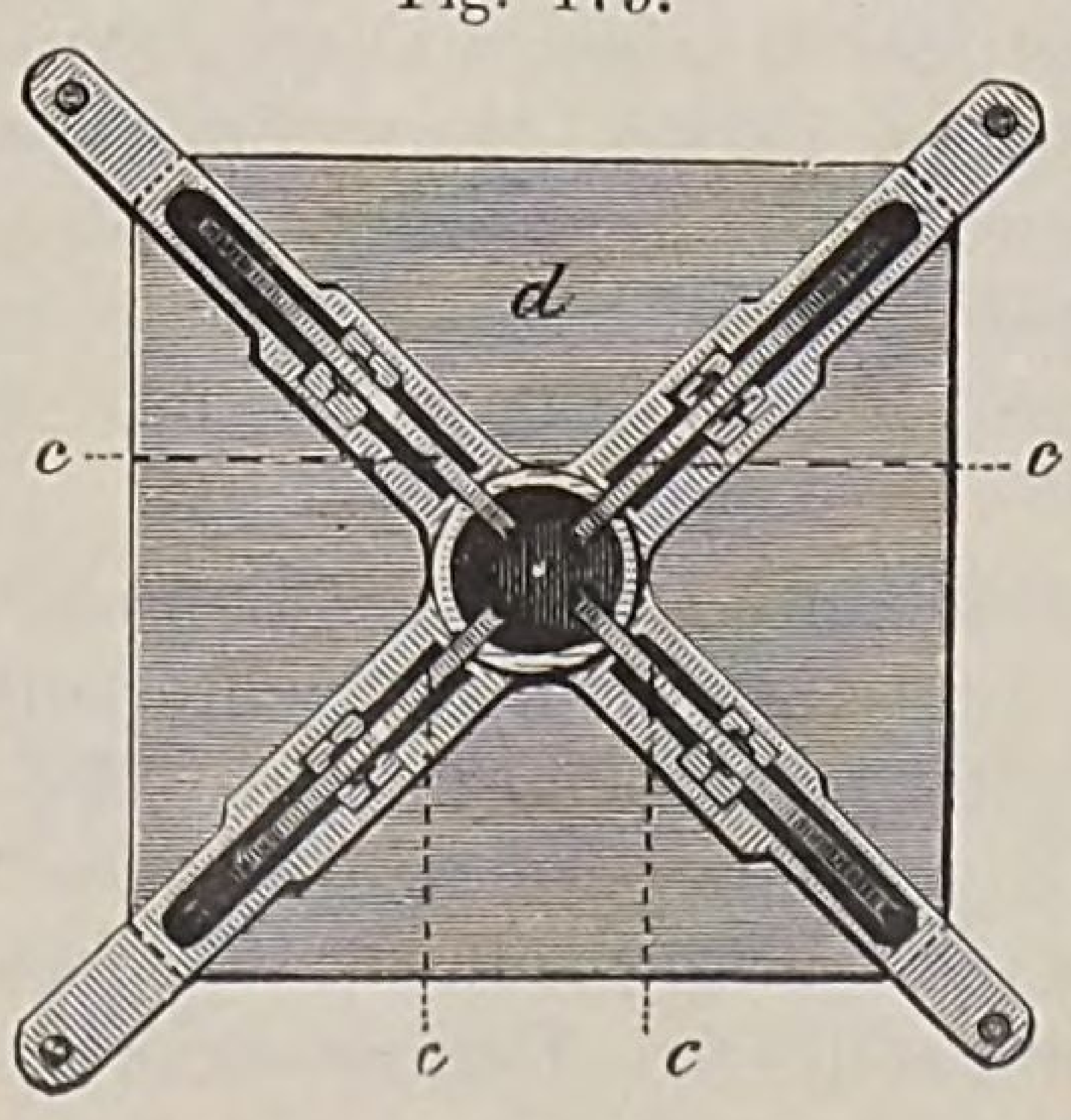


Fig. 179.



sich zwar der Nachtheil abmindern und die Hubhöhe des Treibcylinders auf die Hälfte oder ein Viertel beschränken lassen, aber in diesem Falle ist die Benutzung von Dampf immerhin einfacher als von Druckwasser, welches ohnehin in Winterkälte vor dem Einfrieren geschützt werden müsste.

e) Luftdruckaufzüge.

Auch diese sind, wie die Wasserdruckaufzüge, einfach wirkend. Als Mittel zur Verdichtung dient Luft, welche von einem Gebläse verdichtet oder von einer Luftpumpe verdünnt wird.

Eine im Anfange der siebziger Jahre durch Gjers eingeführte und seitdem auf mehreren Hochofenwerken zur Anwendung gelangte Form solcher Aufzüge ist in Fig. 178 u. 179 dargestellt. *a* ist ein gusseiserner, aus mehreren genau zusammenpassenden, sorgfältig ausgebohrten Stücken zusammengesetzter Cylinder, in welchem der Kolben *b* auf und nieder beweglich ist. Durch vier über Rollen *c c* geführte Seile ist mit dem Kolben die Förderschale *d* verbunden, so dass diese steigt, wenn jener sinkt, und umgekehrt. Das Gewicht des Kolbens pflegt so bemessen zu sein, dass das Gewicht der Förderschale nebst dem Gewichte der Gichtwagen und einem Theile von dem Gewichte der Wagenladung dadurch ausgeglichen wird, und die Förderschale steigt in diesem Falle selbstthätig, so lange keine Belastung vorhanden ist und der Luft unterhalb des Kolbens Auslass gegeben ist. Bei voller Belastung der Schale bedarf es dagegen einer nur verhältniss-

mässig geringen Luftverdünnung unter dem Kolben, um jene zu heben; wenn Niedergang der mit den entleerten Wagen belasteten Schale stattfinden soll, braucht die Luft unterhalb des Kolbens nur so weit verdichtet zu werden, als dem Uebergewichte des Kolbens entspricht.

In anderen Fällen hat man die Gewichtsausgleichung derartig bemessen, dass auch die nur mit den leeren Karren beladene Schale etwas schwerer ist als der Kolben und selbstthätig sinkt, sobald sie sich selbst überlassen wird. Es ist mithin nur für den Aufgang der Schale eine Thätigkeit der Luftpumpe zur Verdünnung der Luft unter dem Kolben erforderlich. Die Einrichtung wird hierdurch etwas vereinfacht, wenn auch selbstverständlich in Rücksicht auf die nunmehr erforderliche stärkere Luftverdünnung eine Arbeitsersparung nicht dadurch erreicht wird; der Wirkungsgrad des Aufzuges dürfte sogar etwas ungünstiger als bei der letzteren Anordnung ausfallen.

Das im unteren Theile des Cylinders angebrachte Zweigrohr *e* dient zur Zuführung oder zum Absaugen der Luft unter dem Kolben. Man bedient sich hierzu einer Zwillingsmaschine ohne Schwungrad mit zwei Dampf- und zwei Luftpumpencylindern. Letztere sind einfachwirkend und daher an der einen Seite mit Saugventil, an der gegenüberliegenden Seite mit Druckventil versehen; die Saugventile sowohl als die Druckventile münden in je ein gemeinschaftliches Saugrohr und ein dergleichen Druckrohr. Beide Rohre endigen in einem Steuerungskasten mit Schieber an dem Ende des Rohres *e*. Durch entsprechende Stellung des Schiebers setzt man, wenn die Förderschale steigen, der Kolben *b* sich abwärts bewegen soll, das Saugrohr der Luftpumpe mit dem Innern des Rohres *a*, das Druckrohr mit der äusseren Luft in Verbindung, die Luft unter dem Kolben wird verdünnt; für die entgegengesetzte Bewegung tritt das Druckrohr in Verbindung mit *a* und die erforderliche Luft wird durch das Saugrohr von aussen her angesaugt.

ff sind die Träger der Gichtbrücke, unter sich durch die Querträger *gg* versteift. In dem obersten Theile des Cylinders *a* sind einige Oeffnungen *ii* angebracht, damit man leicht zum Kolben gelangen kann, wenn dieser geschmiert werden soll. Die Liederung des Kolbens besteht aus Hanf, welcher mit Unschlitt getränkt ist.

Aufzüge der abgebildeten Art zeichnen sich durch sanften Gang und grosse Sicherheit gegen Unglücksfälle aus. Ihre Anlagekosten aber sind in Rücksicht auf die ziemlich kostspielige Herstellung des Treibcylinders beträchtlich, und ihr Wirkungsgrad verringert sich um so mehr, je stärker die zur Bewegung des Kolbens erforderliche Verdichtung oder Verdünnung der Luft, je kleiner also der Querschnitt des Kolbens im Verhältnisse zu dem Gewichte der zu fördernden Last ist. In den meisten Fällen beträgt der erforderliche Ueberdruck $^1/_3$ bis $^1/_2$ Atmosphäre (0,3 bis 0,5 kg auf 1 qcm). Bei Neuanlagen kommen sie nur noch selten in Benutzung, dagegen findet man sie noch auf Werken, wo sie in früherer Zeit erbaut wurden.[1])

1) Abbildungen von Luftdruckaufzügen auf amerikanischen Werken „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 637.

Litteratur.

Einzelne Werke.

J. v. Hauer, Die Hüttenwesensmaschinen. 2. Aufl., Leipzig 1876, S. 260—288.

J. Weisbach, Ingenieur- und Maschinenmechanik. Bearbeitet von G. Hermann, 3. Theil, 2. Abtheilung. 2. Aufl., Braunschweig 1880, S. 97—150.

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten. Leipzig 1884. Bd. II, S. 235.

H. Wedding, Zweiter Ergänzungsband zum Handbuch der Eisenhüttenkunde. Braunschweig 1887. S. 87—184.

Abhandlungen.

J. Pohlig, Drahtseilbahn für die Rümelinger Hochöfen. Zeitschrift des Ingenieur- und Architekten-Vereins für Hannover, Bd. 31 (1885), S. 537. (Die beschriebene und abgebildete Drahtseilbahn führt die Erze bis zur Gichtbühne).

Vergleiche ferner die in den Fussanmerkungen auf S. 497 und 501 genannten Abhandlungen.

V. Die Vorrichtungen zur Anfuhr und Lagerung der Schmelzmaterialien.

Damit der Hochofenbetrieb keine Störung erleide, müssen von den Schmelzmaterialien stets gewisse Vorräthe in Bereitschaft gehalten werden. Je weiter die Gewinnungsstelle von der Verbrauchsstelle, d. h. von dem Hochofenwerke, entfernt ist, desto leichter können Unterbrechungen in dem regelmässigen Bezuge entstehen, und desto grösser müssen deshalb jene Vorräthe sein. Sind die Hochöfen in der Nähe der Steinkohlengruben gelegen, welcher Fall der häufigere ist, so kann der Bezug und die Verkokung der Steinkohlen dem Bedarfe der Hochöfen unmittelbar angepasst werden, ohne dass für diese grössere Lagerplätze erforderlich wären; für die Lagerung der Erze dagegen sind fast immer auf der Hütte mehr oder minder umfängliche Vorrichtungen erforderlich.

In der Regel erfolgt auf grösseren Werken die Zuführung der Erze auf den Hüttenplatz durch Eisenbahnwagen. Auch da, wo Wasserverbindung zwischen der Gewinnungsstätte der Erze und dem Hochofenwerke besteht, pflegt man am Ausschiffungshafen die Erze durch Krahne in Eisenbahnwagen zu verladen, welche sie bis zum Lagerplatze befördern. Die Eisenbahnwagen können normalspurig oder schmalspurig sein, ihren Antrieb durch Lokomotiven, Seile, Elektricität oder durch Menschenkraft erhalten; der Umfang des Betriebes giebt hierfür den Ausschlag.[1])

Ist die Entfernung zwischen der Erzgrube und dem Hochofenwerke nicht sehr bedeutend, so bedient man sich auch wohl einer Drahtseilbahn als Beförderungsmittel.[2])

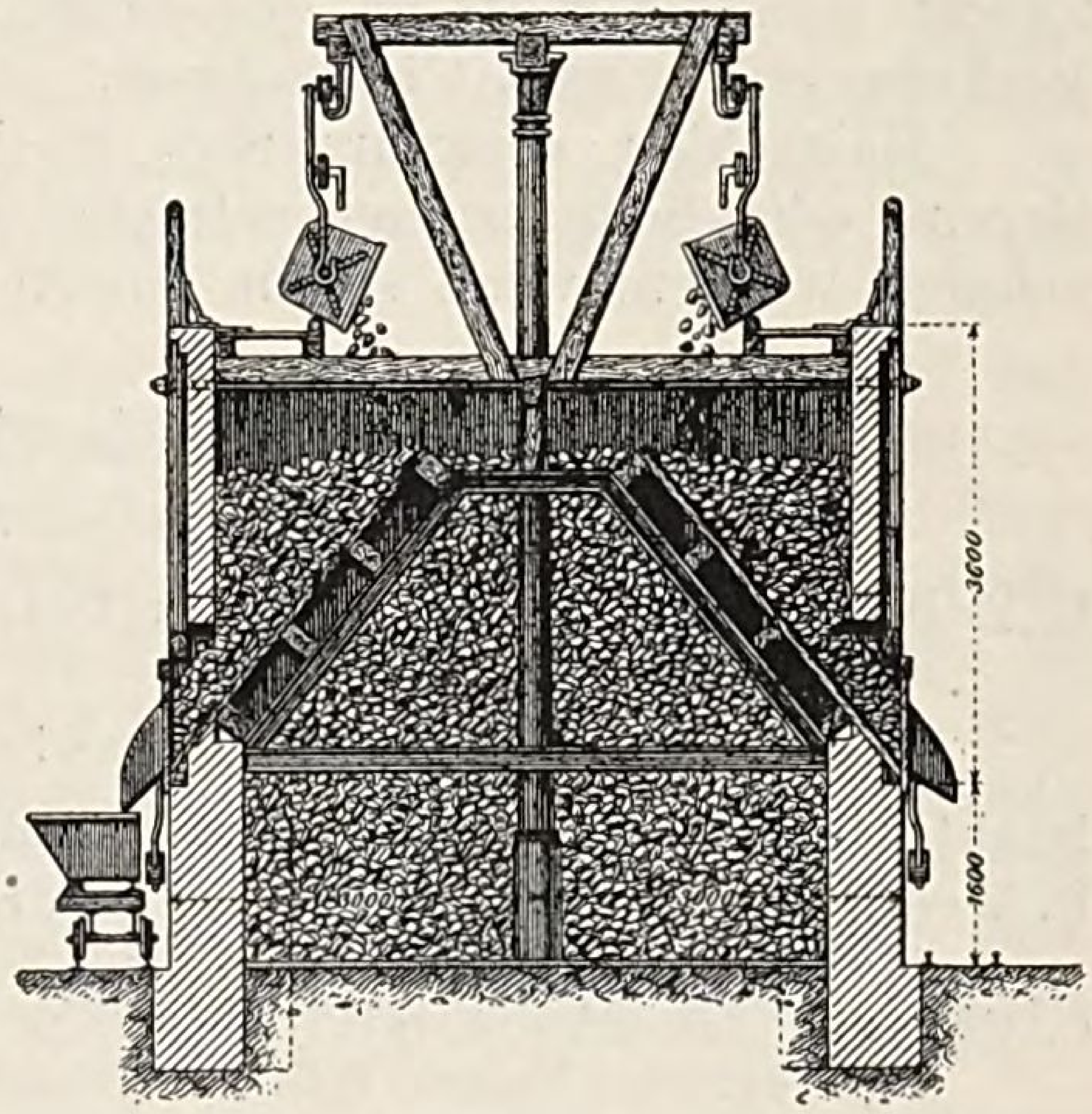
1) Beispiele solcher Anlagen: „Stahl und Eisen“ 1897, S. 289 (Duquesne); 1898, S. 853 (Lorain), sowie in den unter Litteratur genannten Abhandlungen von Wedding und Canaris.

2) Beispiel unter Litteratur.

Um nun die Entladung der Wagen mit thunlichst geringem Aufwand an Arbeitslöhnen zu ermöglichen, führt man sie oberhalb des Lagerplatzes auf eine Hochbahn, gewöhnlich 6 bis 10 m über dem Erdboden, von wo aus die Erze abgestürzt werden. Wo nicht ein bergiges Gelände die Möglichkeit bietet, die Hochbahn am Bergabhange entlang zu führen, dienen eiserne oder gemauerte Pfeiler zu ihrer Unterstützung. In der Regel kann man die Wagen auf mässig ansteigender Bahn bis zu der erwähnten Höhe emporführen; in einzelnen, aber selteneren Fällen werden sie mit Hülfe eines Wasserdruckaufzuges emporgehoben.

Von der Hochbahn aus werden die Erze entweder in freie Haufen aufgestürzt oder in Behälter geschüttet, welche aus Eisen, Holz oder Stein gefertigt sein können und Erztaschen genannt werden. Die Anlage solcher Erztaschen erheischt zwar besondere Kosten, ermöglicht aber eine Ersparung an Grundfläche und erleichtert die spätere Entnahme der Erze für den Verbrauch, zumal wenn es sich um die Aufbewahrung grossstückiger Erze handelt. In Fig. 180 ist im Querschnitt eine solche Erztasche eines Luxemburger Hochofenwerks abgebildet.[1]) Die Zuführung der Erze erfolgt hier durch eine Drahtseilbahn, deren Fördergefässe in der Abbildung erkennbar sind. Die Tasche ist an beiden Seiten mit Auslassöffnungen für die Erze versehen und durch zwei mit Eisenplatten belegte, durch Eisenträger mit darauf liegenden Längshölzern getragene und nach beiden Seiten abfallende Rutschbahnen in eine obere und eine untere Abtheilung getheilt. Die in der unteren Abtheilung befindlichen Erze bilden einen sogenannten eisernen Bestand, welcher nur bei eintretenden Verkehrsstörungen zur Deckung des Bedarfs bestimmt ist; Oeffnungen zu ebener Erde in den beiden Längswänden, in der Abbildung nicht sichtbar, dienen in diesem Falle zur Entnahme der Erze. Während der regelmässigen Zufuhr dagegen dienen die in der oberen Abtheilung befindlichen Erze für den täglichen Verbrauch. Am Fusse der Rutschbahn befinden sich die Auslassöffnungen, welche durch Schieber mit Gegengewichten geschlossen sind. Sollen Erze entnommen werden, so wird ein Wagen unter die vor jeder Oeffnung befindliche Rinne (Schnauze) gefahren, wie in der linken Seite der Abbildung dargestellt ist, der Schieber wird geöffnet, und eine geringe Nachhülfe genügt, den Wagen mit den Erzen zu füllen. Die abgebildete Erztasche besitzt eine Länge von 2,4 m; eine grössere Zahl

Fig. 180.



1) Nach „Stahl und Eisen" 1887, Blatt 27.

gleicher Erztaschen ist in fortlaufender Reihe angeordnet, und je zwei benachbarte Taschen sind durch eine dünne Wand getrennt.

In anderen Fällen hat man den Erztaschen Cylinderform gegeben und lässt die Entleerung von unten her bewirken. Zu diesem Zwecke sind sie mit eisernem Boden versehen und ruhen auf gemauerten Pfeilern von solcher Höhe, dass die zur Fortbewegung der Erzkarren bestimmten Arbeiter bequem unter den Taschen verkehren können. Wagerechte Schieber, durch Zahnstange und Kurbel bewegt, dienen zum Verschliessen der im Boden angebrachten Auslässe.[1])

Wenn das Hochofenwerk nicht eine eigene Verkokungsanstalt besitzt, sondern gezwungen ist, die Koks von auswärts zu beziehen, können gleiche Vorrichtungen für die Anfuhr und Aufbewahrung der Koks wie für die der Erze dienen, Rücksicht jedoch ist auf den Umstand zu nehmen, dass die Koks beim Herabstürzen aus grosser Höhe leicht eine Werthverminderung durch Verkrümelung erfahren. Ist die Verkokungsanstalt dagegen nahe beim Hochofenwerke gelegen, so befördert man die Koks in der Regel unmittelbar von der Rampe der Verkokungsöfen zum Gichtaufzuge.

Holzkohlen verwahrt man in bedeckten Schuppen, da sie bei Regen- oder Schneewetter beträchtliche Mengen von Feuchtigkeit aufnehmen würden, wenn sie im Freien lagerten.

Litteratur.

Einzelne Werke.

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten. Leipzig 1884. Bd. 2, S. 260—275.

Abhandlungen.

Drahtseilbahn für Erztransport. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 617.

H. Wedding, Entlade- und Fördervorrichtungen für Erze und Brennstoffe in Nordamerika. „Stahl und Eisen“ 1891, S. 459.

C. Canaris, Hochbahn mit elektrisch betriebener Krahnanlage auf der Niederrheinischen Hütte. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 1.

Axel Sahlin, The handling of material at the blast-furnace. Engineering, vol. 64, p. 407, 496; auch „Stahl und Eisen“ 1897, S. 635.

Ferner die in Fussanmerkung 1 auf S. 502 genannten Berichte über die Hochofenanlagen zu Duquesne und Lorain.

VI. Das Hochofenschmelzen.

1. Die Arbeiten beim Hochofen.

a) Das Austrocknen, Anwärmen und Anblasen des Hochofens.

In den Poren und in den Fugen der Steine eines neu errichteten oder neu zugestellten Hochofens befindet sich Feuchtigkeit, welche, wenn man den Hochofen sofort nach Beendigung der Zustellung rasch erhitzen wollte, durch Dampfentwickelung leicht zu einer Lockerung

1) Abbildung solcher Erztaschen: „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 126.

des Steinverbandes oder gar zum Zerspringen einzelner Steine Veranlassung geben könnte. Ein allmähliches Austrocknen und Anwärmen des Hochofens ist daher erforderlich, bevor man zu dem eigentlichen Anblasen schreiten kann.

Dass bei den in der Jetztzeit nur noch seltenen Hochöfen mit Massezustellung die Gefahr einer Beschädigung durch die entweichenden Dämpfe noch grösser ist, als bei Oefen mit Steinzustellung, ist leicht erklärlich, und jene Oefen erfordern daher eine ganz besonders vorsichtige Behandlung.

Man bewirkt das Austrocknen und erste Anwärmen des Hochofens, indem man davor eine einfache Rostfeuerung anlegt und die Verbrennungsgase in dem Schachte des Ofens, welcher hierbei als Esse wirkt, aufsteigen lässt. Die Anlage der Feuerung ist einfach. Ein gewöhnlicher Rost von $^1/_2$ bis 1 qm Fläche wird von Ziegelsteinen getragen, und darüber wird eine Verbrennungskammer eingerichtet, die man in das Ofeninnere münden lässt. Als Zugang in das Ofeninnere dient bei Oefen mit offener Brust diese selbst, in welche man den Wallstein und auch den Tümpelstein noch nicht eingesetzt hat; bei Oefen mit geschlossener Brust lässt man eine Oeffnung in der Gestellwand frei, welche erst später durch eingesetzte Steine geschlossen wird.

Ist bei dem Austrocknen besondere Vorsicht erforderlich (bei den erwähnten Oefen mit Massezustellung), so legt man auch wohl die Feuerung anfänglich in einiger Entfernung von dem Ofen an und lässt die Verbrennungsgase ohne Einschaltung eines Kanales durch den Ofenschacht ansaugen, so dass sie reichlich mit Luft vermischt und nur im lauwarmen Zustande in den Ofen eintreten. Allmählich nähert man dann die Feuerung dem Ofen in dem Maasse, wie die Austrocknung fortschreitet. In jedem Falle darf beim Beginne der Arbeit die Feuerung nur schwach sein und erst nach und nach verstärkt werden, muss aber ununterbrochen Tag und Nacht hindurch unterhalten werden, damit nicht Wiederabkühlung eintrete.

Man verwendet flammende oder verkohlte Brennstoffe. Letztere entwickeln am wenigsten Wasserdampf und wirken daher am kräftigsten austrocknend. Um den gewöhnlich übermässig starken Zug abzuschwächen, und die Gase mit den Wänden des Ofens in ausgedehntere Berührung zu bringen, auch zur Verhütung, dass Regen oder Schnee in den Ofen gelange, deckt man (bei offener Gicht) zweckmässigerweise die Gichtöffnung durch eiserne Platten ab, welche auf Querstäben ruhen. Die Gase werden hierdurch gezwungen, an dem Rande ihren Austritt zu nehmen. Soll der Ofen mit einem Gichtverschluss versehen werden, so wird dieser mitunter erst später angebracht, ohne dass jedoch hierfür eine bestimmte Regel maassgebend wäre. Manche Hochofenleute z. B. schliessen den Ofen durch den Langenschen, von Hoffschen oder ähnlichen Gasfang und lassen die Gase durch das am oberen Ende geöffnete Centralrohr entweichen.

Die Zeitdauer dieses Austrocknens und Anwärmens richtet sich nach der Beschaffenheit des Zustellungsmaterials, auch zum Theil nach der jedesmaligen Geschäftslage. Drängt diese nicht sehr zu einem beschleunigten Vorgehen, so setzt man, um desto sicherer zu gehen, das

Anwärmen wohl einige Tage länger fort als unter anderen Verhältnissen, zumal da der Brennstoffaufwand hierfür nicht sehr beträchtlich ist. Bei Oefen mit Steinzustellung wird man mindestens 10 Tage, besser 14 Tage hierauf verwenden müssen, während bei Massezustellungen vier bis sechs Wochen dafür erforderlich zu sein pflegen. In jedem Falle muss das Anwärmen so lange fortgesetzt werden, bis die Gestell- und Raststeine deutlich warm geworden sind.

Die Windformen setzt man erst ein, wenn das Anwärmen sein Ende erreicht hat, und die betreffenden Oeffnungen hält man inzwischen durch eingesetzte Steine verschlossen.

Ist das Austrocknen und Anwärmen beendet, so entfernt man die dafür benutzte Feuerung, reinigt den Ofenherd von Asche und schreitet zum Anblasen.

In früherer Zeit wurde diese Arbeit in recht zeitraubender Weise ausgeführt. Nachdem die Oeffnungen im Gestell durch eingesetzte Steine, auch die Formöffnungen durch Thon geschlossen worden waren, so dass nur noch ganz beschränkter Luftzutritt stattfinden konnte, wurden glühende Kohlen in den Herd gebracht und eine Lage frischer Kohlen (oder Koks) darauf geschüttet. Man wartete nun gewöhnlich, bis an der Oberfläche der eingeschütteten Kohlen sich brennbares Gas zeigte, und schüttete dann erst, um dem Ersticken des Ofens vorzubeugen, aufs Neue Kohlen nach. Durch theilweises Oeffnen oder vollständiges Schliessen der Oeffnungen im Gestelle regelte man den Luftzug, verzögerte aber aus übertriebener Vorsicht nicht selten absichtlich die Verbrennung möglichst lange und fuhr in dieser Weise fort, allmählich den Ofen mit Kohlen bis zur Gicht oder doch wenigstens bis nahe unterhalb der Gicht zu füllen. Auch bei kleineren Oefen währte es in Anbetracht der Pausen zwischen dem Nachfüllen frischer Kohlen und dem Erscheinen der Flamme an deren Oberfläche mindestens einige Tage, bis das Füllen vollbracht war; bei grösseren Oefen mit Koksfeuerung oft einige Wochen. Inzwischen sammelte sich aber im Herde Asche von den verbrannten Kohlen, welche von Zeit zu Zeit entfernt werden musste, um einer Verstopfung des Gestells vorzubeugen. Diese Entfernung der Asche geschah mit Hülfe eines Verfahrens, welches für die beschriebene Art und Weise des Anblasens kennzeichnend ist: des Rostschlagens. Man entfernte die Steine, mit welchen der Zugang in den Herd verschlossen war (bei den Oefen mit offener Brust war der Wallstein während des Füllens noch nicht eingesetzt und der Kanal unterhalb des Tümpelsteines durch Steine geschlossen) legte eine starke Eisenstange in wagerechter Lage quer vor die Oeffnung, so dass ihre Enden durch untergelegte Steine oder in anderer Weise unterstützt waren und ihre Oberkante ein wenig tiefer lag als der obere Rand der Oeffnung, und schob nun über diese Querstange hinweg eine Anzahl langer Eisenstangen in das Gestell bis zur Rückwand des Ofens. Zwischen den einzelnen Stangen liess man so viel Zwischenraum, dass die Asche und kleineren Kohlenstücke hindurchfallen konnten, die grösseren Stücke aber nicht. Die Stangen, deren aussen befindliche Enden durch Arbeiter oder durch irgend eine einfache Vorrichtung festgehalten wurden, bildeten demnach einen wagerechten Rost, unter welchem nunmehr die angesammelte Asche mit langen Krücken ausgeräumt wurde. Wegen

der von den glühenden Kohlen ausgestrahlten grossen Hitze war dieses Rostschlagen eine mühselige Arbeit, musste aber doch mindestens alle zwölf Stunden wiederholt werden, so dass bei grösseren Oefen nicht selten ein 50- bis 60maliges Rostschlagen erforderlich war.

War der Hochofen in der beschriebenen Weise mit Brennstoff gefüllt, so begann man, schwache Erzgichten[1]) zu setzen. Sehr vorsichtige Hochofenmeister liessen auch jetzt noch die Verbrennung der Kohlen lediglich durch den natürlich zutretenden Luftzug bewirken, bis die erste Schlacke sich zeigte; gewöhnlich jedoch öffnete man, nachdem die erste Erzgicht gesetzt worden war, die Formen und blies mit sehr schwacher Pressung Gebläsewind ein. In jedem Falle musste, so lange noch keine geschmolzene Schlacke sich zeigte, auch jetzt noch das Rostschlagen fortgesetzt werden, und erst, wenn flüssige Schlacke vor die Formen trat, wurde das Gestell durch Einsetzen des betreffenden Steines geschlossen. Der Erzsatz wurde allmählich gesteigert, und nach Verlauf von vier bis acht Wochen, vom Beginne des Füllens an gerechnet, pflegte der Ofen in vollen Betrieb gekommen zu sein.

Noch jetzt wird bei Holzkohlenhochöfen mitunter dieses Verfahren des Anblasens befolgt. Es gewährt eine grosse Sicherheit für den späteren guten Gang des Hochofens, und seine hauptsächlichsten Nachtheile — grosser Kohlenverbrauch und lange Zeitdauer — fallen um so unbedeutender aus, je kleiner der Ofen ist.

Andrerseits aber musste die seit den vierziger Jahren zunehmende Vergrösserung der mit Koks betriebenen Hochöfen nothwendigerweise zu einer Vereinfachung jenes Verfahrens führen, welches bei ungeänderter Anwendung für die grossen Oefen der Jetztzeit sehr bedeutende Opfer an Kohlen, Arbeitslöhnen und Zeit erheischen würde. Zuerst kürzte man in England das Verfahren, indem man zu unterst Holz in den Ofen brachte, darüber Koks; mit dem Erzsatze begann man, wenn der Ofen bis zu etwa der Hälfte seiner Höhe gefüllt war, entzündete alsdann das Holz und füllte nun allmählich den Ofen, worauf der Wind eingelassen wurde.[2]) Durch Lürmann wurde das Verfahren noch weiter vervollkommnet und insbesondere das so lästige und zeitraubende Rostschlagen vollständig beseitigt. Man giebt den zum Füllen dienenden Koks einen entsprechenden Kalkzuschlag, um aus der Koksasche eine ausreichend dünnflüssige Schlacke zu bilden, welche aus dem Ofen abfliesst.

Das zum Entzünden der Koks dienende Holz muss trocken sein. Man wählt grosse Holzscheite, welche senkrecht stehend das Gestell anfüllen; darüber bringt man wohl eine Lage wagerecht liegender Scheite, so dass der Ofen bis etwa zur Mitte der Rast mit Holz gefüllt ist. Seitdem man jedoch durch die Einführung der steinernen Winderhitzer die Möglichkeit erlangt hat, den Gebläsewind weit über die Entzündungstemperatur der Koks hinaus zu erwärmen, sieht man in

1) Eine Gicht in dem obigen Sinne ist der Inbegriff der in einem Male in den Ofen eingeschütteten Materialien. Man unterscheidet Brennstoffgichten und Erzgichten; beide zusammen bilden eine volle Gicht.

2) Nach Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde (Abth. 2, Seite 734), wurde der erste Ofen in dieser Weise im Jahre 1863 durch Parry zu Ebbw Vale angeblasen.

den Fällen, wo bereits ein anderer Hochofen im Betriebe steht und demnach heisser Wind verfügbar ist, auch wohl von der Anwendung des Holzes ganz ab. Man füllt den unteren Theil des Ofens mit Koks und entzündet diese durch den heissen Wind.

In jedem Falle, man mag Holz anwenden oder nicht, wird zunächst der Ofen bis ungefähr zu einem Viertel oder Drittel seiner Höhe mit Koks gefüllt, welchen man so viel Kalkstein zusetzt, als zur Verschlackung ihres Aschengehalts erforderlich ist. Die Zusammensetzung der Koksasche muss hierbei maassgebend sein; durchschnittlich kann man auf 1 Theil Koksasche 1,5 Theile Kalkstein rechnen. Nun kommen einige Koksgichten, deren Grösse derjenigen bei vollem Betriebe gleich sein kann, und auf jede Koksgicht wiederum Kalkstein, zugleich aber auch eine gewisse Menge Hochofenschlacke. Die Menge der Schlacke und des Kalksteines zusammen kann dem Gewichte der Koks annähernd gleich sein; ist die Schlacke schon an und für sich kalkerdereich und der Aschengehalt der Koks nicht sehr beträchtlich, so kann auch der Kalksteinzuschlag nunmehr ganz in Wegfall kommen und Schlacke an dessen Stelle treten. Die schmelzende Schlacke nimmt vermöge ihrer ziemlich beträchtlichen spezifischen Wärme[1]) eine entsprechend grosse Wärmemenge auf, führt sie nach unten, bereitet in solcher Weise den Herd des Ofens vor und bildet für das später nachfolgende Roheisen ein an Wärme reiches Bad, welches dieses vor Abkühlung und Erstarrung schützt.

Auf die Gichten mit Schlackenzusatz folgen schwache Erzgichten, zuerst gewöhnlich fünf bis sechs Gichten mit ungefähr einem Drittel des Erzsatzes, welcher bei vollem Betriebe gegeben wird, nebst Hochofenschlacke; dann ebensoviel Gichten mit dem halben Satze u. s. f. In dieser Weise wird der Hochofen ganz oder bis nahe zum Rande gefüllt.

Damit der Ofen nicht durch allzu dichte Lagerung der eingefüllten Materialien beim Anblasen ersticke, gebraucht man die Vorsicht, sie nicht von oben her einzustürzen, sondern man lässt sie in Körben an einem Seile von oben herunter und breitet sie dann gleichmässig aus. Die Gichtverschlüsse müssen zu diesem Zwecke entfernt werden, und ein über der Gicht aufgestellter Haspel dient zum Hinunterlassen der gefüllten Körbe.

Wenn das Füllen beendet ist, setzt man die im Gestell etwa noch fehlenden Steine ein, prüft, ob alle Theile sich in gutem Zustande befinden, leitet das Kühlwasser zu den Formen und sonstigen gekühlten Theilen und bringt Feuer in den Herd oder leitet hocherhitzten Wind zu, falls man kein Holz angewendet hatte. Bei Benutzung von Holz zur Entzündung der Koks pflegt man mit dem Zulassen des Windes zu warten, bis die erste Schlacke erscheint; in jedem Falle bläst man anfänglich mit sehr schwacher Pressung. Der Abstich wird vorher mit feuerfester Masse, welche fest eingestampft wird, so weit geschlossen, dass nur eine engere (durch Einlegen eines Holzmodells beim Einstampfen

1) Schinz fand die specifische Wärme der Schlacke bei 1250° = 0,29, die des Roheisens nur ungefähr halb so gross (Documente, betreffend den Hochofen, Seite 33 und 34).

der Masse frei gehaltene) Oeffnung, die eigentliche Stichöffnung für das Roheisen, noch offen bleibt;[1]) mitunter lässt man, um den Boden des Ofens noch besser vorzuwärmen, anfänglich die Gase durch diese Oeffnung austreten (sofern nicht die Brust des Ofens offen ist) und schliesst sie erst, wenn die Schlacke anfängt, auszufliessen.

Die Gasfänge und Gichtverschlüsse werden vor dem Anlassen des Windes an Ort und Stelle gebracht und in Stand gesetzt; die Benutzung der Hochofengase zur Heizung der Kessel, Winderhitzer u. s. w. beginnt, sobald sie sich als brennbar erweisen. Um Explosionen zu vermeiden, lässt man die in den Leitungen befindliche Luft vollständig durch das Gas verdrängen, bevor dieses entzündet wird.

In dem Maasse, wie die Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens und der Schlacke es als zulässig erscheinen lassen, steigert man nunmehr die Windpressung wie den Ersatz, und nach Verlauf von drei bis sechs Tagen pflegt der Betrieb des Ofens in regelrechtem Gange sich zu befinden.

Beispiele des Anblasens verschiedener Hochöfen findet der Leser in den unter Litteratur aufgeführten Abhandlungen.

b) Die Arbeiten während des gewöhnlichen Betriebes.

Diese Arbeiten erstrecken sich im Wesentlichen auf das Herbeischaffen der Schmelzmaterialien von ihren Lagerplätzen, Abmessen oder Abwägen in den erforderlichen gegenseitigen Verhältnissen, Hinaufbefördern auf die Gichtebene und Einschütten in die Gicht, sobald die Oberfläche der Beschickungssäule um das entsprechende Maass gesunken ist; ferner die Beaufsichtigung der Windformen, Reinigung von erstarrten Ansätzen, sowie die Beaufsichtigung des Schlackenabflusses und die Entfernung der erfolgenden Schlacken; endlich die Herrichtung des Giessbetts zur Aufnahme des Roheisens und das Ablassen (Abstechen) des Roheisens in bestimmten Zeiträumen.

Den Inbegriff des Erzgemisches, welches der Hochofen zur Darstellung dieser oder jener Roheisensorte erhält, heisst der Möller, die Arbeit des Mischens die Möllerung. Um die Arbeit abzukürzen und nicht gezwungen zu sein, auch bei Nacht die Erze von ihren oft entfernt liegenden Lagerplätzen herbeizuholen, hat man bei einzelnen Hochofenwerken unmittelbar hinter dem Ofen ein besonderes Möllerhaus eingerichtet, in welchem während des Tages die den Bedarf des Ofens während 24 Stunden deckende Menge von Erzen und Zuschlägen aufgespeichert wird, um von hier aus wiederkehrend in den vorgeschriebenen Gewichtsverhältnissen nach dem Hochofen befördert zu werden. Das Verfahren der Möllerung aber ist nach der Grösse des Hochofens und nach der Anzahl der Erzsorten verschieden, welche „gattirt", d. h. in bestimmtem gegenseitigem Gewichtsverhältnisse mit einander verschmolzen werden.

1) Die in dem Wallsteine oder, bei Oefen mit geschlossener Brust, in einem Gestellsteine ausgesparte Oeffnung muss beträchtlich grösser sein als die eigentliche Stichöffnung, damit man nöthigenfalls Versetzungen beseitigen kann, ohne den Stein zu beschädigen. Sobald sich bei der öfteren Benutzung die in der Masseausfüllung gelassene engere Stichöffnung allzu sehr erweitert hat, wird die Ausfüllung erneuert.

Je kleiner der Hochofen und je grösser die Zahl der gattirten Erze ist, desto empfindlicher ist der erstere gegen jede zufällige Unregelmässigkeit in der Zusammensetzung der Beschickung. Deshalb pflegt bei Holzkohlenhochöfen, insbesondere bei den auf graues Roheisen betriebenen, eine ganz besondere Sorgfalt auf die Möllerung verwendet zu werden. In dem Möllerhause fährt man auf dem mit Eisenplatten abgedeckten Fussboden die einzelnen Erzsorten in flachen Schichten mit rechteckiger Grundfläche über einander auf, so dass ein regelmässiger Haufen in Form einer ganz flachen abgestumpften Pyramide von $^3/_4$ bis 1 m Höhe entsteht. Jede Schicht eines einzelnen Erzes wird, ehe die nachfolgende darüber aufgeschüttet wird, mit Holzkrücken geebnet und gleichmässig auf der ganzen Fläche vertheilt. Sind Zuschläge erforderlich, so werden auch diese zwischen den Erzen schichtenweise aufgefahren. Von diesem Möller wird nun mit der Keilhacke und Schaufel durch senkrechte Schnitte ein Theil nach dem andern losgetrennt, gut durch einander geschaufelt, und von dieser Mischung erhält alsdann der Hochofen die erforderliche Menge für jede Gicht. Bevor der erste Möller verbraucht ist, muss an einer andern Stelle des Möllerhauses bereits ein zweiter fertig aufgefahren sein, damit nicht Mangel eintrete.

Einfacher ist das Verfahren bei grossen, mit Koks betriebenen Hochöfen. Hier schüttet man, wenn ein Möllerhaus vorhanden ist, die einzelnen Erze und Zuschläge getrennt in Bretterverschlägen oder in ähnlicher Weise auf, entnimmt für das jedesmalige Aufgichten so viel von jeder Sorte, als der vorgeschriebenen Zusammensetzung des Möllers entspricht, und schüttet die Körper, ohne sie vorher zu mischen, ohne Weiteres in die Gicht, so dass erst in dem Ofen selbst die Mischung erfolgt. Noch häufiger sieht man von der Anlage eines Möllerhauses ganz ab und befördert die Materialien von dem (bei Nacht elektrisch beleuchteten) Stürzplatze sofort nach dem Gichtaufzuge.

Zur Beförderung der Erze, Zuschläge und Kohlen bedient man sich vierrädriger Karren (Hunte), welche auf Schienen laufen. Die Gichtwagen, welche die Schmelzmaterialien auf die Gichtbühne befördern, um in die Gichtöffnung entleert zu werden, müssen aus Eisenblech gefertigt sein. Um das Entleeren in kürzester Zeit bewirken zu können, benutzt man Kippwagen, deren Kasten um eine wagerechte Achse so weit drehbar ist, dass beim Aufkippen der Inhalt rasch herausstürzt. Fig. 181 und 182 stellen zwei übliche Formen solcher Kippkarren für Eisenhochöfen dar. Bei beiden ist *a* die Achse, um welche der Kasten beim Kippen gedreht wird. Bei dem Karren Fig. 181, welcher zum Aufgichten der Erze bestimmt ist, stürzt der Inhalt, wie leicht ersichtlich ist, ohne Weiteres heraus, sobald der Kasten entsprechend weit aufgekippt ist. Bei dem Karren Fig. 182, welcher weniger für Erze als für Brennstoffe sich eignet, ist die Stirnwand zum Aufklappen eingerichtet und wird durch einen Riegel festgehalten; da ihre Drehungsachse oben liegt, öffnet sie sich von selbst, wenn der Riegel zurückgezogen und der Kasten aufgekippt wird.

Den Karren für Erze pflegt man einen Inhalt von 3 bis 4 Hektolitern, denen für Brennstoffe einen Inhalt von 4 bis 6 Hektolitern zu geben.

Die aufzugichtenden Erze, Zuschläge und Brennstoffe werden entweder gewogen oder gemessen (wobei die Gichtkarren selbst gewöhnlich als Messgefässe dienen), und man ermittelt in dem letzteren Falle von Zeit zu Zeit das Durchschnittsgewicht einer bestimmten Maasseinheit der Schmelzmaterialien, um durch Rechnung das Gewicht der aufgegichteten Materialien zu erhalten. Letzteres Verfahren hat den Vortheil der grösseren Einfachheit, da das jedesmalige Wägen wegfällt, und man vermeidet bei der Berechnung der Betriebsergebnisse eher die Unrichtigkeiten, welche die Schwankungen in dem Wassergehalte der im Freien lagernden Schmelzmaterialien bei verschiedenen Witterungsverhältnissen leicht herbeiführen. Besonders bei Verhüttung dichter, mulmiger Brauneisenerze zeigen sich mitunter erhebliche Abweichungen bei Regen und bei trockenem Wetter. Anderntheils unterliegt auch das specifische Gewicht der Brennstoffe doch häufig Schwankungen und man ist demnach auch beim Messen nicht ganz sicher vor Abweichungen. Auf vielen Werken ist es üblich, die Brennstoffe nach Gemäss und die Erze nebst Zuschlägen nach Gewicht aufzugeben. Der Umstand giebt

Fig. 181.

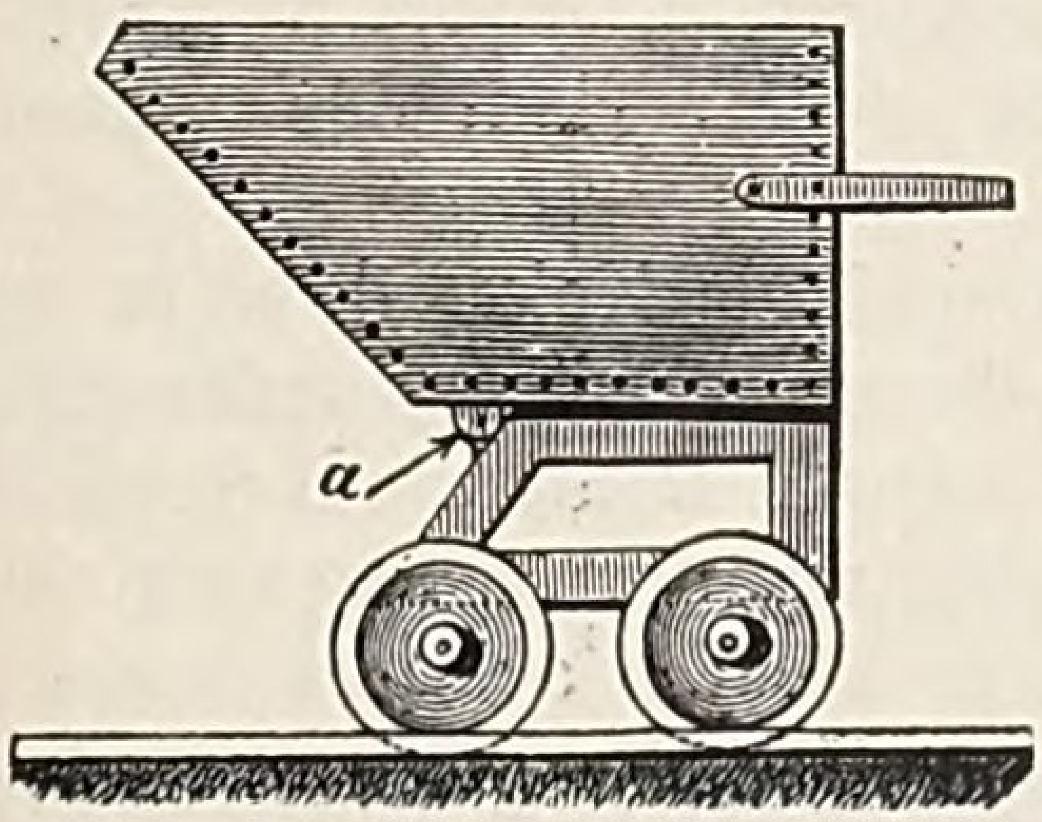
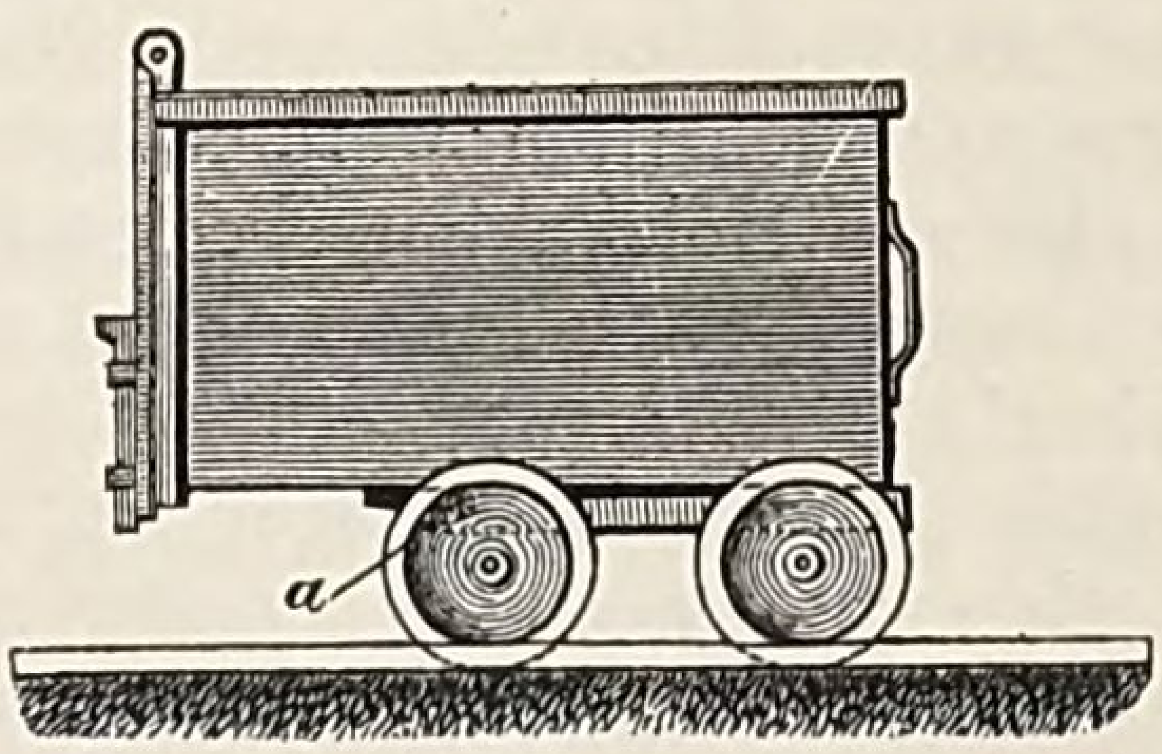


Fig. 182.



hierfür den Ausschlag, dass beim Wägen feuchter Brennstoffe der Hochofen nicht allein weniger Kohle erhält, als ihm bestimmt war, sondern auch noch gezwungen ist, mit der geringeren Kohlenmenge die im Ueberschusse zugeführte Feuchtigkeit zu verdampfen, also in doppelter Beziehung geschädigt wird.

Da aber der Gang des Ofens auch bei sorgfältigster Beachtung aller maassgebenden Verhältnisse nicht frei von Schwankungen bleibt, lässt sich während des Betriebes nicht ein stets unverändertes Verhältniss zwischen Brennstoff- und Erzsatz beibehalten, sondern dem wechselnden Ofengange gemäss muss dieses Verhältniss geregelt werden. Eine Aenderung würde ebensowohl durch Vergrösserung oder Verkleinerung der Brennstoffgichten als der Erzgichten zu erreichen sein; die Regel ist aber, die Brennstoffgichten unverändert zu lassen und die Grösse der Erzgichten bei wechselndem Hochofengange zu verändern. Der Grund hierfür ist, dass die Erze bei ihrem bedeutend grösseren specifischen Gewichte und ihrer geringeren Stückgrösse im Hochofen weniger Raum einnehmen als die Brennstoffe, obgleich ihr Gesammtgewicht doppelt bis dreifach so gross zu sein pflegt als das der letzteren; in der Vertheilung der Materialien und in ihrem Niedergange im Ofen würden deshalb grössere Veränderungen eintreten, wenn man die Grösse der Brennstoffgichten ändern wollte, als im andern Falle.

Die Grösse des jedesmaligen Brennstoffsatzes für eine Gicht aber muss hauptsächlich von der Grösse des Hochofens abhängig sein. Es kommt hierbei in Betracht, dass, je grösser die einzelnen Gichten sind, desto tiefer die Beschickungsoberfläche sinken muss, bevor frisch aufgegichtet werden kann, und dass mithin die durch das Einschütten kalter Materialien in den Ofen hervorgebrachte Abkühlung bei grösseren Gichtsätzen nicht allein stärker ist als bei kleineren, sondern auch sich bis zu einer grösseren Tiefe im Ofen erstreckt. Wenn von diesem Gesichtspunkte aus kleinere Gichtsätze vortheilhafter sind als grosse, giebt es doch auch in dieser Beziehung eine Grenze des Zweckmässigen. Mit abnehmender Grösse der einzelnen Gichten wird ihre Zahl beträchtlicher; hierdurch vermehrt sich auch die erforderliche Arbeit, und bei Oefen mit geschlossener Gicht, jedoch ohne einen zweiten Gichtdeckel, wo beim jedesmaligen Aufgichten ein Oeffnen des Gichtverschlusses stattfindet, ist hiermit zugleich ein Gasverlust verknüpft. Bei den Oefen mit Parryschem, Von-Hoffschem, Langenschem Gasfange ist aber die Vertheilung der Schmelzmaterialien beim Aufgichten von der Grösse der einzelnen Gichten abhängig, wie bei der Besprechung jener Vorrichtungen erläutert wurde, und es giebt hier eine bestimmte, bei den einzelnen Hochöfen durch Erfahrung zu ermittelnde Grösse des Brennstoffsatzes, welche nicht ohne Nachtheil für den Verlauf des Schmelzganges unterschritten werden kann

Da die Holzkohlen specifisch leichter sind als Koks, d. h. in dem Ofen einen grösseren Raum als diese einnehmen, und da anderntheils die Holzkohlenhochöfen einen erheblich geringeren Rauminhalt als Kokshochöfen zu besitzen pflegen, ist auch die Grösse der Brennstoffgichten dem Gewichte nach bei ersteren durchweg kleiner als bei letzteren. Die kleinsten Holzkohlenöfen erhalten Brennstoffgichten von nur 50 kg, bei den meisten beträgt das Gewicht 100 bis 150 kg, selten geht es über 200 kg hinaus. Die Brennstoffgichten der Koksöfen dagegen sind selten kleiner als 2000 kg; häufiger beträgt ihr Gewicht 3000 bis 5000 kg, mitunter bis 9000 kg. Nicht selten ist es vorgekommen, dass der Betrieb günstiger wurde, wenn man grössere Gichten als zuvor setzte.

Als Richtschnur für die Zusammensetzung des Möllers oder, falls nicht besonders gemöllert wird, der einzelnen Erzgichten dient eine im Möllerhause oder sonst an geeigneter Stelle aufgehängte Tafel, auf welcher von dem Betriebsleiter des Hochofens die zu möllernden Erzsorten ihrer Menge nach vorgeschrieben werden.

Die Entfernung der Schlacke aus dem Hochofen ist ziemlich einfach, wenn sie dünnflüssig genug ist, um von selbst abzufliessen, was bei allen mit heissem Winde betriebenen Kokshochöfen und auch bei den auf Weisseisen arbeitenden Holzkohlenhochöfen der Fall zu sein pflegt. An die Schlackenform oder an die Schlackenspur bei Oefen mit offener Brust wird eine mit Masse ausgekleidete Rinne angeschlossen, welche die Schlacke einem Sammelorte zuführt. Die Aufgabe des Schmelzers ist es dann nur, dafür zu sorgen, dass die Austrittsöffnung für die Schlacke aus dem Ofen nicht verstopft werde.

Die Art und Weise des Ansammelns der flüssigen und Fortschaffens der erstarrten Schlacke richtet sich nach ihrer beabsichtigten Verwendung, von welcher im siebenten Abschnitte die Rede sein wird. In den

meisten Fällen lässt man die Schlacke unmittelbar aus der höher liegenden Schlackenrinne in gusseiserne Wagen laufen, in denen sie erstarrt und an einen entfernt liegenden Stürzplatz gefahren wird. Diese Wagen, welche auf Schienen laufen, sind vierrädrig; auf den Achsen ruht eine starke Gusseisenplatte, welche den Boden des zur Aufnahme der Schlacke bestimmten Eisenkastens bildet. Der Kasten ist mitunter aus vier unter einander und mit dem Boden verdübelten Platten zusammengesetzt, so dass er sich auseinander nehmen lässt; häufiger hat er die Form eines abgestumpften, oben offenen Kegels, so dass man ihn, wenn an dem Stürzplatze ein Krahn vorhanden ist, von dem erstarrten Schlackenkörper abheben kann, um diesen alsdann zu beseitigen. Bisweilen ist der Boden zum Aufkippen eingerichtet, und der Krahn, welcher den Kasten abhebt, wirft zugleich, indem er den Boden kippt, die Schlacke hinunter.[1]) Man findet auf verschiedenen Werken zahlreiche Abweichungen in der Einrichtung dieser Schlackenwagen; oft sind örtliche Verhältnisse für die Einrichtung maassgebend gewesen. Der räumliche Inhalt der Schlackenwagen pflegt 1 bis 4 cbm zu betragen, mitunter darüber; die Beförderung der Wagen erfolgt bei grossem Betriebe durch Lokomotiven.

Die Aufgabe, die Schlacke über den obern Rand des Kastens hinweg einfliessen zu lassen, lässt sich in den meisten Fällen ohne Schwierigkeit lösen; man legt, wie früher erwähnt wurde, von vorn herein den Bodenstein des Ofens so hoch über die Ebene der Hüttensohle, dass sowohl hierfür als für das Ablassen des Roheisens der nöthige Fall gewahrt bleibt.

Bei Holzkohlenhochöfen, welche graues Roheisen für die Giesserei liefern, ist die Schlacke in der Regel nicht so dünnflüssig, dass ein regelmässiges Abfliessen möglich wäre, und man pflegt aus diesem Grunde, wie früher erwähnt wurde, diese Oefen nicht mit geschlossener, sondern mit offener Brust zu versehen. Die Oberfläche der zwischen Tümpel und Wallstein stehenden Schlacke wird mit einer Schicht Holzkohlenlösche bedeckt gehalten, um sie vor allzu rascher Abkühlung zu schützen; von Zeit zu Zeit, wenn die Oberfläche der Schlacke im Ofen steigt, hebt man mit einer Eisenstange die vor dem Tümpel befindliche halberstarrte Schlackendecke empor, zieht sie mit einer eisernen Krücke über die Oberkante des Wallsteins hinweg, fährt, wenn nöthig, mit einem langen eisernen Haken unter dem Tümpel hinweg bis in das Gestell des Ofens, um erstarrte Schlackenansätze loszubrechen und der Schlacke den Weg nach vorn hin frei zu machen, und schüttet dann frische Lösche auf.

Das Abstechen des Roheisens erfolgt, wenn es sich soweit im Herde angesammelt hat, dass nur noch eine dünne Schlackendecke darauf schwimmt, oder auch vorzeitiger, wenn für einen andern Betriebszweig Bedarf an flüssigem Roheisen vorliegt. Im Verlaufe von 24 Stunden pflegt dieses Abstechen zwei- bis sechsmal erforderlich zu sein, abweichend nach dem Fassungsraume des Herdes und der Leistungsfähigkeit des Ofens.

1) Abbildung eines solchen Wagens: „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 685.

In den Pausen zwischen den einzelnen Abstichen wird das Giessbett zur Aufnahme des flüssigen Roheisens vorgerichtet, sofern man Roheisenmasseln[1]) darzustellen und nicht etwa das flüssige Metall sofort durch ein anderes Verfahren weiter zu verarbeiten beabsichtigt. In dem letzteren Falle benutzt man eiserne, mit feuerfester Masse ausgekleidete oder mit feuerfesten Ziegeln ausgemauerte Gefässe (Pfannen) zur Aufnahme und Beförderung des Metalls an seinen Bestimmungsort. Die Einrichtung dieser Pfannen ist von der Menge und der ins Auge gefassten Verwendung (Giesserei, Bessemer- und Thomasverfahren) abhängig und wird zum Theil bei späterer Gelegenheit Erwähnung finden.

Das Giessbett befindet sich vor dem Ofen und liegt etwas tiefer als das Stichloch, damit für das abfliessende Roheisen das nöthige Gefälle bleibe. Es besteht aus einer Lage mässig feinkörnigen, für Gase durchlässigen Sandes, wie er auch in Eisengiessereien für Herstellung sogenannten Herdgusses benutzt wird; in diesem stellt man mit Hilfe eines Modells die Gussformen her, in welchen das flüssige Roheisen erstarren soll. Die Gussformen sind oben offen und haben die Form flacher oder halbcylindrischer Rinnen, entsprechend der Form, welche man den Roheisenmasseln zu geben beabsichtigt. Statt der Sandformen bedient man sich nicht selten gusseiserner Formen, welche, nachdem sie entleert wurden, nur wieder an der betreffenden Stelle und an der richtigen Reihenfolge in das Sandbett eingegraben zu werden brauchen, um aufs Neue zur Aufnahme des Roheisens bereit zu sein. Man spart dadurch die Arbeit des Einformens, und die Masseln bleiben frei von Sand, der an den im Sande gegossenen Masseln in oft nicht unerheblicher Menge haften bleibt. Durch das häufig wiederholte Erhitzen und Abkühlen aber werden die Gussformen allmählich zerstört, so dass sie einer öfteren Auswechselung bedürfen, und eine Ersparung kann deshalb mit ihrer Anwendung kaum verknüpft sein. Besonders häufig findet man sie bei der Darstellung gewöhnlichen Weisseisens in Anwendung. Graues Roheisen und Spiegeleisen erleiden durch die raschere Abkühlung in den gusseisernen Formen eine Aenderung ihres Bruchaussehens, und so lange man dieses Bruchaussehen als Maassstab für den Werth des Roheisens betrachtete, mussten die Hochofenwerke befürchten, durch die Benutzung eiserner Formen Veranlassung zu einer ungünstigen Beurtheilung ihres Erzeugnisses seitens der Empfänger zu geben. Erst in neuester Zeit hat man sich auf einigen amerikanischen Werken von diesem Vorurtheile frei gemacht und angefangen, auch graues Roheisen in eiserne Masselformen zu giessen.[2])

Auf vielen grösseren Werken liegt das Giessbett frei; auf anderen hat man es überdacht, um die Arbeiter und auch die Gussformen vor den Unbilden der Witterung zu schützen. Damit nun das Anfüllen der Sand- oder eisernen Formen mit dem aus dem Stichloche des Hochofens kommenden Roheisen in regelrechter Weise verlaufe, müssen sie in geeigneter Weise neben und hinter einander angeordnet sein.

1) Masseln sind die Roheisenbarren, welche zum Umschmelzen bestimmt sind. In manchen Gegenden Deutschlands nennt man sie Gänze, in Oesterreich Flossen.

2) „Stahl und Eisen" 1898, Seite 214.

Zu diesem Zwecke führt man eine mit Masse ausgekleidete Rinne oder Gosse, welche das Roheisen zunächst aufnimmt, von dem Stichloche aus an dem Rande des Giessbetts entlang; von hier aus werden quer über das Giessbett hinüber eine Anzahl paralleler Rinnen in Abständen von etwa 2 m von einander abgezweigt, und an jede schliessen sich nun, wie die Zinken eines Kammes an dessen Quersteg, die dicht neben einander liegenden eigentlichen Masselformen von etwa 1,5 m Länge an. Mit Hülfe sogenannter Abstichschaufeln, spatenartig ausgeschmiedeter Eisenstäbe, welche mit Lehm überzogen sind und quer in die Rinnen gesteckt werden, um sie abzusperren, regelt man die Vertheilung des Roheisens. Zunächst lässt man es in die erste Reihe der Gussformen eintreten, indem man den Hauptkanal unmittelbar hinter der ersten Abzweigung absperrt; dann in die zweite Reihe, u. s. f.

Wenn Alles zu dem Abstiche bereit ist, wird bei den Oefen mit offener Brust das Gebläse abgestellt, weil sonst eine mächtige Flamme unter dem Tümpel hervorbrechen und den Aufenthalt davor unmöglich machen würde, sobald die Oberfläche der geschmolzenen Massen im Herde zu sinken beginnt. Alsdann öffnet man das Stichloch mit Hülfe eines eisernen Spiesses mit verstahlter Spitze und lässt das Roheisen nebst der darauf schwimmenden Schlacke auslaufen. Wenn der Herd entleert ist, pflegt man zunächst den Wind für kurze Zeit zuzulassen, um so viel als thunlich Lösche und sonstige, im Herde befindliche lockere Körper durch Ausblasen zu entfernen, dann stellt man aufs Neue das Gebläse ab und reinigt nun mit langen eisernen Stangen (Rengeln) und Haken (Schaffhaken), welche unter dem Tümpel hindurch eingeschoben werden, den Herd von allen Ansätzen, füllt den vor dem Tümpel befindlichen Theil des Herdes mit Kohlenlösche, legt bei Oefen mit stärkerer Windpressung eine Gusseisenplatte darauf, um das Austreten der Gase unter dem Tümpel hervor unmöglich zu machen, schliesst das Stichloch durch einen Thonpfropfen und lässt nun erst die Gebläse wieder an.

Bei den Oefen mit geschlossener Brust pflegt man auch während des Abstechens zu blasen und auch noch einige Zeit damit fortzufahren, nachdem das Roheisen ausgeflossen ist, um den Herd möglichst zu reinigen. Erst dann wird das Gebläse abgestellt, nachdem die Sicherheitsklappen in den Düsenständern, welche das Zurücktreten der Gase verhindern sollen, geschlossen worden sind, das Stichloch wird von etwa gebildeten Ansätzen gereinigt und mit einem Pfropfen aus feuerfester Masse oder Thon und Sand wieder geschlossen, worauf das Blasen aufs Neue beginnt. Die Schlackenöffnung (Schlackenform) bei den Oefen mit geschlossener Brust wird so lange mit Thon verschlossen gehalten, bis die Schlacke aufs Neue zu den Formen emporgestiegen ist.

Nicht immer geht das Abstechen ohne Hindernisse von statten. Besonders bei den Oefen, welche mit weniger hoch erhitztem Winde schmelzen, kommt es vor, dass sich erstarrte Massen hinter dem Stichloche festgesetzt haben, welche nur durch Bearbeitung mit meisselartig zugeschärften Stangen, die durch Hammerschläge eingetrieben werden, sich entfernen lassen. Mitunter ist eine mehrstündige schwere Arbeit hierfür erforderlich.

Die Roheisenmasseln werden nach dem Erstarren in der Regel durch Handarbeit aus den Gussformen entfernt und verladen. Auf mehreren amerikanischen Werken hat man jedoch auch hierfür Maschinenarbeit in Anwendung gebracht. Die Gussformen, welche aus Eisen bestehen müssen, werden hierbei nicht auf einem Giessbette aufgestellt, sondern in fortlaufender Reihe angeordnet und durch zwei Ketten ohne Ende vorwärts bewegt. Am Anfange ihres Weges nehmen sie das flüssige Metall auf, am Ende stürzen sie die inzwischen erstarrten Masseln aus. Auf dem Rückwege werden sie zum Zwecke der Abkühlung durch ein Gefäss mit Wasser hindurchgeführt und sind dann zur abermaligen Benutzung bereit.[1])

c) Arbeiten im Ofeninnern; Beseitigung von Gichtschwamm und Versetzungen.

Bisweilen kann es nothwendig werden, auch im Innern des Ofens Arbeiten auszuführen. Bei den Oefen mit Blechmantel oder mit Rauhgemäuer kommt es vor, dass Schachtsteine ausgewechselt werden müssen, an welche man wegen der Umhüllung des Schachtes von aussen nicht gelangen kann; bei den Hochöfen, welche zinkische Erze verhütten, bildet sich in einiger Entfernung unterhalb der Gicht jener auf Seite 337 erwähnte, grösstentheils aus Zinkoxyd bestehende Gichtschwamm, welcher von Zeit zu Zeit entfernt werden muss, um nicht ernstliche Betriebsstörungen zu verursachen. Zur Vornahme solcher Arbeiten giebt man einige schwächere Erzgichten als gewöhnlich, zuletzt zweckmässigerweise einige Schlackengichten und lässt dann die Beschickung, ohne weiter aufzugichten, bis zu der erforderlichen Tiefe niedergehen. Nun wird das Gebläse abgestellt, die Formen und sonstigen Oeffnungen werden durch Thonpfropfen geschlossen und auf die Beschickungsoberfläche wird eine Decke fein gepochter Hochofenschlacke geschüttet, um das Aufsteigen der kohlenoxydreichen Gase möglichst zu hindern. Beansprucht die erforderliche Arbeit längere Zeit, so ist es empfehlenswerth, durch eine oder mehrere auf der Gicht aufgestellte Saugmaschinen die Gase aus dem Schachte unmittelbar über der Beschickungsoberfläche abzusaugen. Auch ein öfterer Wechsel der im Schachte beschäftigten Arbeiter ist nothwendig, um sie vor der längeren Einwirkung der Ofengase zu schützen. Auf diese Weise hat man selbst einen grossen Theil der gesammten Schachtmauerung eines Hochofens erneuert, ohne ihn auszublasen.[2])

Besondere Schwierigkeiten bietet die Beseitigung von Versetzungen im Hochofen, die aus verschiedenen Veranlassungen entstehen können. Sehr strengflüssige Beschickungen, insbesondere sehr kalkerdereiche, geben ziemlich leicht die Veranlassung zur Entstehung solcher Versetzungen, wenn durch einen Zufall die Temperatur im Schmelzraume abnahm oder wenn durch Unregelmässigkeiten beim Aufgichten oder beim Niedergehen der Gichten die schlackenbildenden Bestandtheile in unrichtiger Mischung in den Schmelzraum gelangten;[3])

1) Abbildungen einer solchen Vorrichtung: „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 621.
2) Vergleiche z. B. die unter Litteratur aufgeführte Abhandlung von Burgers.
3) Versetzungen, durch Anhäufung ungeschmolzenen Kalkes entstanden, pflegt man das Kalkelend zu benennen.

bei Anthracithochöfen ist es die Neigung der Anthracite, zu zerspringen und in Staub zu zerfallen, neben ihrer Schwerverbrennlichkeit, welche nicht selten eine Verstopfung des Ofens oberhalb der Formen durch einen aus Anthracitstaub und halbgeschmolzener Schlacke gebildeten Klumpen herbeiführt.

So lange in diesen Fällen die Versetzung noch nicht ein solches Maass erreicht hat, dass der Wind nicht mehr durchdringen kann, wird man Alles daran setzen, die starren Massen durch Steigerung der Temperatur über den Formen zum Schmelzen zu bringen. Eine starke Verringerung des Erzsatzes, unter Umständen das Aufgeben mehrerer leerer Gichten (Brennstoffgichten ohne Erze), ist in jedem Falle am Platze, vermag aber allein nicht immer die Versetzung zu beseitigen, da, bevor die Gichten an der Stelle der letzteren anlangen, der Ofen schon vollständig zugesetzt und erstickt sein kann. Man muss also häufig darnach trachten, Brennstoff von unten her in den Ofen zu bringen und durch stark erhitzten Gebläsewind zu verbrennen. Zur Erreichung dieses Ziels ist man alsdann gezwungen, den Ofen an einer geeigneten Stelle aufzubrechen, eine sehr beschwerliche Arbeit, welche grosse Umsicht erheischt. Befindet sich die Versetzung in grösserem Abstande über den Formen, so ist man bisweilen genöthigt, eine oder mehrere besondere Formen in der betreffenden Höhe einzulegen, um die Stelle der grössten Wärmeentwickelung jener Versetzung zu nähern. Auch das Einlegen einer Form oberhalb der Versetzung, um hier Verbrennung und grössere Wärmeentwickelung hervorzurufen, ist mitunter von gutem Erfolge begleitet gewesen.

Als sehr erfolgreich hat sich nicht selten die Einführung von Petroleum mit dem Gebläsewinde in den Ofen erwiesen. Oberhalb der Düsenebene wird ein Behälter für das Petroleum in solcher Höhe angebracht, dass der Druck der Flüssigkeit den Winddruck überwindet; ein Eisenrohr mit Hahn führt das Petroleum in das Düsenrohr, wo es verflüchtigt und weitergeführt wird. Die Temperatur im Ofen pflegt dann rasch zu steigen, und manche ernstliche Versetzungen sind durch dieses Mittel schon beseitigt worden.

So lange in solchen Fällen die Gase noch Durchgang finden, verringert sich, wenn man schwächere Gichten aufgegeben hat, von Stunde zu Stunde die Gefahr eines völligen Einfrierens; ist aber der Ofen bereits vollständig verstopft, so kann nur ein rasches und thatkräftiges Einschreiten noch Erfolg haben. Ein Aufbrechen des Ofens ist unerlässlich, um die erstarrten Massen (die Sau) zu beseitigen, sei es durch Einbringen von Kohlen, sei es durch Losbrechen mit eisernen Stangen.

Recht kräftige Mittel sind auf amerikanischen Eisenwerken mitunter zur Anwendung gebracht worden, um die Versetzungen zu zerstören. In mehreren derartigen Fällen hat man mit Anwendung von Pulver oder Dynamit, welcher, in Holzkästen verpackt, unter die Sau gebracht wurde, deren Sprengung erzielt; in einem anderen Falle wurde durch Kanonenschüsse aus einem aufrecht gerichteten Geschütze die Zertrümmerung bewirkt.[1])

1) Vergleiche die unter Litteratur aufgeführten Berichte in den Transactions of the American Institute of Mining Engineers.

Von sonstigen, vornehmlich durch Störung des Gleichgewichts in der Wärmeentwickelung und dem Wärmeverbrauche veranlassten Unterbrechungen des regelmässigen Schmelzgangs und deren Beseitigung wird unten bei Besprechung des Verlaufs des Hochofenschmelzens die Rede sein (vergleiche Gaargang und Rohgang).

d) Das Dämpfen und Ausblasen der Hochöfen.

Besondere Verhältnisse können es erforderlich machen, dass der Gang des Hochofens auf einige Zeit — Tage oder auch Wochen — zum Stillstand gebracht wird, ohne dass ein eigentliches Ausblasen stattfindet, welches immerhin die Erneuerung der Ofenzustellung und ein kostspieliges Wiederanblasen erforderlich macht. Dieser Fall kann z. B. eintreten, wenn durch äussere Vorkommnisse — Krieg, Unwetter oder dergleichen — die Zufuhr der Materialien auf einige Zeit abgeschnitten ist; wenn Arbeitsausstände stattfinden, und dergleichen mehr. Man schreitet dann zum Dämpfen des Hochofens. Hat man die ausreichende Zeit, so giebt man einige leere Gichten, welche bei aschenreichen Brennstoffen nur mit so viel Kalkstein beschickt werden, als zur Verschlackung der Asche nothwendig ist, entfernt alles flüssige Roheisen nebst Schlacken aus dem Hochofen, stellt das Gebläse ab, schliesst sämmtliche Oeffnungen möglichst luftdicht durch Verstreichen mit Masse oder Thon und füllt nur von Zeit zu Zeit, wenn die Oberfläche der Beschickung gesunken ist, frische Kohlen nach. Auf diese Weise lässt sich ein Ofen Wochen hindurch dämpfen und dann in verhältnissmässig kurzer Zeit wieder in regelrechten Betrieb setzen. Nach dem Wiederbeginne des Betriebes wird anfänglich schwach geblasen, um nicht grössere Mengen unreducirter Erze in den Schmelzraum zu führen, bis der Ofen seine erforderliche Temperatur wieder erlangt hat. Im Jahre 1889 mussten in Rheinland-Westfalen wegen des Ausstandes der Kohlenbergleute verschiedene Hochöfen auf diese Weise gedämpft werden und blieben zum Theil drei Wochen ausser Betrieb.[1])

Soll wegen allzu ausgedehnter Beschädigungen der Ofenzustellung, welche eine fortgesetzte Benachtheiligung des Ofenganges zur Folge haben, der Ofen neu zugestellt werden, oder soll aus irgend einem andern Grunde der Hochofenbetrieb eingestellt werden, so erfolgt das Ausblasen des Hochofens.

An und für sich ist diese Arbeit einfach. Man hört mit Aufgichten auf, bläst so lange, bis vor den Formen keine schmelzenden Massen mehr erscheinen, bricht dann den Ofen unten auf (durch Entfernung des Wallsteines oder bei geschlossener Brust eines Gestellsteines), räumt mit langen Eisenkrücken die noch im Innern befindlichen glühenden, halbgeschmolzenen Massen aus und lässt ihn erkalten.

Bei einem derartigen Niederblasen aber entwickelt sich aus der Gicht des Ofens eine immer länger und heisser werdende Flamme, da die aufsteigenden Gase nicht mehr von frisch aufgeschütteten Materialien abgekühlt werden und die Widerstände, welche der Wind im Ofen findet, sich immer mehr verringern. Die Gichtverschlüsse müssen, um

1) Näheres hierüber: „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 991.

vor Zerstörung durch die Flamme bewahrt zu bleiben, abgenommen werden, und in Gegenden, wo das Ausblasen in dieser Weise bewirkt wird, ist es üblich, zuvor in der ganzen Umgebung Kunde davon zu geben, damit nicht bei Nacht durch den weithin leuchtenden Feuerschein Feueralarm entstehe.

Durch ein einfaches, seit Ende der sechziger Jahre öfters angewendetes Mittel[1]) ist man im Stande, der Entwickelung dieser Flamme vorzubeugen und dadurch auch den Ofenschacht gegen ihre zerstörenden Einwirkungen zu schützen. Sobald die Flamme anfängt, grösser zu werden, schüttet man Kalkstein nach, und man wiederholt dieses Nachschütten so oft, als es erforderlich erscheint, bis das Ausblasen beendet ist. Der untere Raum des Ofens füllt sich hierdurch mit gebranntem, unschmelzbarem Kalk, welcher später ausgeräumt wird und zur Mörteldarstellung benutzt werden kann. Allerdings wird die Abkühlung des ausgeblasenen Ofens dadurch verzögert; durch vorzeitiges Aufbrechen sind schon Unglücksfälle entstanden, indem die Arbeiter mit dem glühenden Kalk überschüttet wurden, und daher ist das Mittel nicht überall in Anwendung.

2. Der chemische und physikalische Verlauf des Hochofenschmelzens.

a) Die allgemeinen Vorgänge im Hochofen.

Drei Vorgänge sind es vornehmlich, auf denen die Umwandlung der in die Gicht eingeschütteten Erze in flüssiges Roheisen und flüssige Schlacke beruht: Reduction des Eisens und der sonstigen aus den Erzen in das Roheisen übergehenden Körper, Kohlung und Schmelzung. Ehe aber die Reduction beginnen kann, muss das aufgeschüttete Erz auf die Reductionstemperatur erwärmt werden; von der ganzen Höhe des Ofens kommt also ein gewisser Theil von der Gicht abwärts für diese Vorwärmung in Benutzung.

Irrig würde es jedoch sein, wenn man hieraus die Vorstellung ableiten wollte, als folgten jene Vorgänge nun, scharf von einander getrennt, einer auf den andern, so dass man sich das Ofeninnere in einzelne Abtheilungen oder Zonen zerlegt denken könne, von denen eine jede nur einem bestimmten jener Vorgänge dient. Ein Erzstück, welches im Innern noch Feuchtigkeit enthält, kann bereits an der Aussenfläche durch den reducirend wirkenden Gasstrom beeinflusst werden, wenn auch das Maass der stattfindenden Reduction noch unbedeutend und die Entstehung metallischen Eisens vorläufig unmöglich ist. Auch die Aufeinanderfolge der Reduction und Kohlung darf man sich keineswegs so vorstellen, dass ein Stück Eisenerz erst vollständig zu metallischem Eisen reducirt werde, bevor die Kohlung beginnen könne. Beide Vorgänge gehen Hand in Hand und schreiten von der Aussenfläche des Erzes nach Innen fort. Aeusserlich kann schon kohlenstoffhaltiges Eisen vorhanden sein, während der Kern noch sauerstoffhaltig ist. Die Reduction aber setzt sich regelmässig oder doch in den allermeisten Fällen, auch nachdem bereits Schmelzung eingetreten ist,

1) Nach Valton ist das Mittel schon um 1850 bei den Holzkohlenhochöfen von Berry angewendet worden.

unter Einwirkung der weissglühenden Kohlen auf die Schlacke fort; oder mit anderen Worten: ein, wenn auch bei regelmässigem Betriebe verhältnissmässig kleiner Theil des Eisens wird unreducirt verschlackt und aus der Schlacke erst im unteren Theile des Hochofens durch Kohlenstoff reducirt.

Man darf fernerhin nicht ausser Betracht lassen, dass die Erze und Brennstoffe nicht etwa in wagerechten Schichten und in der Anordnung, welche sie beim Aufgichten erhielten, abwärts gleiten, sondern ihre Lage und Anordnung um so mehr verändern, je weiter sie nach unten gelangen. An den Wänden entsteht Reibung, und die Bewegung der niederrückenden festen Körper ist deshalb hier langsamer als in der Mitte. Aus den ursprünglich flachen Schichten werden auf diese Weise Trichter; die dichteren und weniger rauhen Bestandtheile der Beschickung aber, also die Erze und Zuschläge, stürzen der tiefsten Stelle des Trichters zu und gelangen deshalb früher nach unten als die gleichzeitig aufgeschütteten Brennstoffe.

Für dieses Voraneilen der schwereren Bestandtheile der Beschickung erhält man im Betriebe nicht selten Beweise. Aus dem Rauminhalte des Ofens und dem Rauminhalte der einzelnen Gichten lässt sich annähernd berechnen, wie viele Gichten der Ofen fasst; aus der Zahl der in 24 Stunden durchgesetzten Gichten kann man demnach ermitteln, wie lange durchschnittlich eine Gicht im Ofen verweilt. Giebt man einmal besonders schwere Körper, z. B. Roheisenstücke, mit den Erzen auf, so gelangen diese früher vor den Formen an, als der Rechnung entspricht; sperrige Körper von geringem Gewicht dagegen werden an den Wänden zurückgehalten und kommen bisweilen mehrere Tage zu spät.[1]) Auch durch den unmittelbaren Versuch ist die Trichterbildung erwiesen, indem man senkrecht stehende, mit einem Fusse versehene Eisenstangen sowohl in der Mitte des Ofens als am Rande mit der Beschickung niedergehen liess und dann nach Verlauf bestimmter Zeit ermittelte, wie viel der Niedergang an beiden Stellen betragen hatte.[2])

Schon bei Besprechung der Gichtgasfänge wurden die Nachtheile einer solchen Entmischung, d. h. einer Anhäufung der Erze nach der Achse des Ofens hin, der Kohlen an den Wänden, erwähnt und zugleich darauf hingedeutet, wie man im Stande sei, durch ein geeignetes Verfahren des Aufgichtens jener Entmischung entgegen zu wirken; die Trichterbildung aber bleibt immerhin durch die Art des Aufgichtens unbeeinflusst.

Die Reduktion der Erze wird theils durch Kohlenoxyd, theils durch feste Kohle bewirkt. Auf Seite 283 wurde rechnungsmässig der Beweis geliefert, dass der Wärmeverbrauch für den Vorgang der Reduction grösser ist, wenn Kohle als wenn Kohlenoxyd das Reductionsmittel bildet. Unter übrigens gleichen Verhältnissen gebraucht demnach ein Hochofen um so weniger Brennstoff zur Darstellung der gleichen

1) Ich entsinne mich eines derartigen, bei einem Holzkohlenhochofen ausgeführten Versuchs, wobei man Tannzapfen den Holzkohlen beigemischt hatte. Noch nach Wochen gelangten vereinzelte Tannzapfen vor die Formen.

2) Berg- und hüttenmännische Zeitung 1865, S. 398, 425, 440 (Wepfer).

Menge Roheisen, je vollständiger die Erze durch Kohlenoxyd, je weniger sie durch feste Kohle reducirt werden.

Reduction durch Kohlenoxyd aber kann nur so lange stattfinden, als die Erze nicht geschmolzen und dabei verschlackt sind; von dem Augenblicke des Schmelzens an muss die Reduction durch Kohlenstoff an ihre Stelle treten. Hieraus folgt, dass jenes Ziel, möglichste Ausdehnung der Reduction durch Kohlenoxyd, um so leichter erreichbar ist, je rascher beim Aufsteigen der Gase die vor den Formen des Hochofens zur Durchführung des Schmelzens erforderliche hohe Temperatur unter jene Grenze sinkt, wo die Schlackenbildung und die Aufnahme des noch nicht reducirten Eisens in die Schlacke beginnt. Anderntheils ist eine annähernd vollständige Reduction des überhaupt in der Beschickung vorhandenen Eisens nur möglich, und die Oxydation schon reducirten Eisens vor den Formen lässt sich nur vermeiden, wenn sich der Sauerstoff der eingeblasenen atmosphärischen Luft hier rasch und vollständig mit Kohlenstoff zu Kohlenoxyd vereinigt; beim Aufsteigen der Gase aber kann, ohne dass sie ihre Eigenschaft als Reductionsmaterial einbüssen, ihr Gehalt an Kohlensäure um so mehr zunehmen, je mehr ihre Temperatur sich vermindert (Seite 40).

Die Aufgabe des dem Hochofen zugeführten Brennstoffs erstreckt sich demnach in zwei verschiedenen Richtungen. Er soll durch seine Verbrennung die zur Durchführung des Schmelzverfahrens nothwendige Wärmemenge liefern und die dafür erforderliche Temperatur entwickeln; er soll aber auch, indem er zunächst ausschliesslich zu Kohlenoxyd verbrannt wird, das Material liefern, welches bei seinem Aufsteigen im Ofen die Reduktion der niederrückenden Erze bewirkt. Nicht mit Unrecht hat man den Eisenhochofen einen Gaserzeuger vollkommenster Art genannt, in welchem die erzeugten Gase sofort zur Reduction der Eisenerze Benutzung finden, die bei der Gaserzeugung entwickelte Wärme aber zum Schmelzen des Roheisens nebst Schlacken, sowie zur Deckung des sonstigen Wärmebedarfs (Zerlegung von Carbonaten, Verdampfung von Feuchtigkeit u. s. w.) verbraucht wird. Die bei jenem Reductionsvorgange entstehende Kohlensäure aber soll so wenig als möglich wieder zu Kohlenoxyd reducirt werden; denn jedes Gewichtstheil Kohlenstoff, welches im oberen Theile des Hochofens durch Kohlensäure verbrannt und dem Ofen hierdurch entführt wird, geht seiner eigentlichen Bestimmung verloren. Je weniger fester Brennstoff zur Reduction des Erzes wie zur Reduction von Kohlensäure verbraucht und hierdurch jener Aufgabe, Wärme zu entwickeln, entzogen wird, desto günstiger gestaltet sich die Leistung des Hochofens.

Verfolgt man nun zunächst die chemischen Aenderungen, welche die in die Gicht eingeschütteten und im Ofen niederrückenden festen Körper erleiden, so ergiebt sich Folgendes.[1])

1) Man hat die Veränderungen, welchen die Erze und Zuschläge bei ihrem Niederrücken ausgesetzt sind, verfolgt, indem man durchlöcherte Kapseln aus Eisenblech mit den Probestücken füllte, an einer Stange befestigte und dann mit der Beschickung des Hochofens niedergehen liess. Aus verschiedenen Tiefen wurden sie emporgezogen, um dann untersucht zu werden. Näheres hierüber in den unter Litteratur aufgeführten Abhandlungen von Tunner, Kupelwieser und Schöffel.

Unmittelbar nach dem Aufschütten jener Körper in die Gicht des Hochofens beginnt die Verdampfung der von ihnen mitgebrachten Feuchtigkeit. Aber auch gebundenes Wasser (Hydratwasser), an welchem vornehmlich die Brauneisenerze reich sind, wird ziemlich rasch ausgetrieben. Einige Brauneisenerze zerfallen schon bei einer Temperatur, welche wenig über 100° C. hinausgeht, andere werden erst bei 400 bis 500° C. vollständig zersetzt. Bei Versuchen, von Ebelmen mit Bohnerzen angestellt, welche im Hochofen der Einwirkung der warmen Gase ausgesetzt wurden, ergab sich, dass der Wassergehalt der Erze in einer Tiefe von 2,5 m unterhalb der Gicht und in einer Temperatur unter Rothgluth sich während zweier Stunden auf etwa ein Drittel der ursprünglichen Menge verringert hatte, in einer Tiefe von 4,3 m dagegen in dunkler Rothgluth — also bei einer Temperatur von ungefähr 500° C. — nach Verlauf von $4^1/_2$ Stunden annähernd vollständig ausgetrieben war.[1]) Für diese Wasserdampfung wird Wärme verbraucht, und die Folge hiervon ist eine Erniedrigung der Temperatur in der Gicht. Die bedeutenden Schwankungen dieser Temperatur vor und nach dem Aufgichten, welche sich bei manchen Hochöfen beobachten lassen und mitunter mehr als 100 Grad betragen, finden hierin ihre Erklärung. Auch die durchschnittliche Gichttemperatur ist unter übrigens gleichen Verhältnissen niedriger, wenn wasserreiche als wenn trockene Erze verhüttet werden. Noch andere Verhältnisse sind freilich für die Höhe der Gichttemperatur maassgebend. Je grösser die Wärmemenge ist, welche schon in den tiefer gelegenen Theilen des Ofens für die verschiedenen Vorgänge gebraucht wird, und je langsamer die Gase im Hochofen aufsteigen, je geringer also ihre Menge im Verhältnisse zu dem Querschnitte des Ofens ist, desto abgekühlter verlassen sie den Ofen. Während daher jene Durchschnittstemperatur an der Gicht bei einzelnen Hochöfen, z. B. bei Holzkohlenhochöfen, welche Rasenerze oder sonstige wasserreiche Brauneisenerze verhütten, nicht erheblich über 50° C. hinausgeht, erreicht sie bei anderen eine Höhe bis zu 500° C. und mitunter noch darüber.

Die Rücksicht auf jenen erheblichen Wärmeverbrauch für die Verflüchtigung des Wassergehaltes der Brauneisenerze bildete früher nicht selten eine Veranlassung, sie zu rösten, auch wenn ein sonstiger Grund dafür nicht vorlag. Man glaubte Brennstoff im Ofen sparen zu können, indem man den Wärmeverbrauch durch die vorausgehende Röstung verringerte. Die Beobachtungen beim Betriebe haben jedoch jene Erwartung nicht oder nur ausnahmsweise gerechtfertigt. Die Gichttemperatur steigt bei der Verwendung gerösteter statt ungerösteter Erze, d. h. die Gichtgase führen eine entsprechend reichlichere Wärmemenge aus dem Ofen davon. Unmittelbar findet also keine Ersparung an Wärme statt. Nun lässt sich zwar vermuthen, dass mittelbar eine Beeinflussung des Schmelzganges insofern stattfinden könne, als in dem Ofen mit wärmerer Gicht die Reduction der Erze frühzeitiger beginnt und demnach die Erze der Reductionswirkung des Gasstromes länger ausgesetzt bleiben, als in dem Ofen mit kälterer Gicht; da aber

1) Trav. Scient. II, p. 185; daraus in Percy-Wedding Eisenhüttenkunde, 1. Aufl., Abth. II, Seite 659.

gerade die Brauneisenerze leicht reducirbar zu sein pflegen, bleibt auch dieser Umstand meistens ohne Belang. Nur bei sehr kleinen Hochöfen lässt sich ein mässiger Nutzen von der Anwendung gerösteter Brauneisenerze erwarten.

Bei einer Temperatur von ungefähr 300° pflegt die Reduction der Erze durch den Kohlenoxydgehalt des aufsteigenden Gasstromes zu beginnen; aber die Menge des abgegebenen Sauerstoffs bleibt unbedeutend, so lange die Erze nicht in einen wärmeren Theil des Ofens einrücken. Dass metallisches Eisen erst bei ungefähr 800° C. entstehen könne, ist schon bei der allgemeinen Besprechung des Verhaltens der Eisenoxyde gegen reducirende Einflüsse (Seite 286) erwähnt worden. Verweilen die Erze längere Zeit in einer Temperatur von ungefähr 400°, so wird Kohlenstoff auf ihnen abgelagert (Seite 288).

Enthält die Hochofenbeschickung Carbonate, also ungeröstete Spatheisenerze oder Sphärrosiderite oder ungerösteten Kalkstein, so werden diese zersetzt, wenn sie beim Niedergange in denjenigen Theil des Ofens gelangt sind, wo die zur Zersetzung erforderliche Temperatur herrscht. Die angestellten Ermittelungen über die zur Zersetzung der Eisencarbonate erforderliche Temperatur stimmen nicht ganz überein, vermuthlich deshalb nicht, weil die äussere Beschaffenheit und die Stückgrösse dieser Erze hierbei mitsprechen. Nach Åkerman werden feinzertheilte Spathe schon bei 300 bis 400° zersetzt;[1]) Schinz dagegen fand, dass die Zersetzung und Reduction der Spatheisensteinerze in einem Gasstrome, welcher etwa 34 v. H. Kohlenoxyd neben Stickstoff enthielt, erst in Temperaturen, welche nahe an 800° C. lagen, begann.[2]) Der früher (Seite 230) erwähnte Einfluss der Röstung auf die Reducirbarkeit der Spatheisensteinerze und Sphärosiderite macht es wahrscheinlich, dass die Zersetzung doch in der Regel erst in höherer Temperatur vor sich geht, als Åkerman beobachtete.

Kalkstein wird nach allen vorliegenden Beobachtungen erst bei 900° C. allmählich zersetzt. Schöffel beobachtete, dass eine kalkspathhaltige Erzprobe, deren Kohlensäuregehalt ursprünglich 12,11 v. H. gewesen war, noch 5,01 v. H. Kohlensäure enthielt, also mehr als ein Drittel der ursprünglichen Menge, nachdem das Erz im Hochofen der Einwirkung des aufsteigenden Gasstromes in einer Temperatur von etwa 900° C. ausgesetzt gewesen war.[3])

Auch zur Zerlegung der Carbonate wird Wärme verbraucht. Nach Jordan sind zur Zerlegung von 1 kg $CaCO_3$ 447 W.-E., zur Zerlegung von 1 kg $FeCO_3$ 130 W.-E. erforderlich.[4]) Wenn trotzdem eine vorausgehende Röstung des Kalksteines sich fast immer als wenig nutzenbringend für den Hochofenbetrieb erwiesen hat,[5]) so lässt sich dieser

1) R. Åkerman, Das Rösten der Eisenerze, Seite 2.
2) Dokumente, betreffend den Hochofen, Seite 70.
3) Jahrbuch der k. k. Bergakademieen, Band 21, Seite 194.
4) Revue universelle des mines, série 3, tome 31, p. 1. Vergl. auch Fussanmerkung 1 auf Seite 231.
5) Vergl. unter Litteratur die diesen Gegenstand betreffende Abhandlung von L. Bell. Versuche, die von mir bei einem kleinen Holzkohlenhochofen über das Verhalten des rohen und gerösteten Kalksteines angestellt wurden, liessen das Rösten als zwecklos erscheinen. In anderen Fällen hat man eine geringe Vermehrung der Roheisen-

Umstand durch verschiedene Ursachen erklären. Einestheils nimmt gebrannter Kalk, wenn er nicht unmittelbar nach dem Brennen aufgegichtet wird, sondern, wie es mitunter geschieht, erst Tage oder Wochen lang, den Einflüssen der Atmosphärilien preisgegeben, lagert, sehr bald Wasser und später auch Kohlensäure auf; der Zweck des Brennens geht also ganz oder doch zum grossen Theile wieder verloren, wie schon auf Seite 231 erwähnt wurde. Anderntheils kann jene Temperaturerniedrigung, welche bei Anwendung rohen Kalksteines durch den Wärmeverbrauch für die Zersetzung des Carbonates und durch die hierbei stattfindende Vermehrung der Gasmenge hervorgerufen wird, in solchen Fällen günstig, statt ungünstig, den Verlauf des Hochofenschmelzens beeinflussen, wo durch Aufsteigen der Schmelztemperatur in eine Gegend des Ofens, in welcher noch beträchtliche Mengen unreducirter Erze vorhanden sind, deren vorzeitige Verschlackung herbeigeführt werden würde. Der Eisenhüttenmann nennt diese Erscheinung Oberfeuer; die Folge der vorzeitigen Verschlackung der Erze ist ein Mehraufwand fester Kohle für die Reduction (statt des Kohlenoxydes) und dadurch ein Mehrverbrauch an Wärme und Brennstoff (Seite 287). Dieser Umstand erklärt es jedenfalls auch, dass selbst eine theilweise Anwendung ungerösteter Spatheisensteine und Sphärosiderite mitunter sich als förderlich für den Verlauf des Hochofenschmelzens erwiesen hat.

Wird der Hochofen ganz oder theilweise mit unverkohlten Brennstoffen gespeist, so findet auch bei deren Niedergange Zersetzung statt. Die Zersetzung rohen Holzes beginnt schon bei etwa 150° C., und ist bei 400° C. ziemlich beendigt, obschon kleine Mengen Wasserstoff noch in heller Rothgluth zurückgehalten und vermuthlich erst bei der Verbrennung der Kohle vollständig verflüchtigt werden. Die Zersetzung der Steinkohlen geht in einer Temperatur vor sich, welche nach der Beschaffenheit der Kohlen verschieden sein kann, jedenfalls aber höher liegt als die Zersetzungstemperatur des Holzes. Auch dieser Vorgang ist mit einem Wärmeverbrauche und einer Erniedrigung der Temperatur im Hochofen verknüpft.

Die Temperatur, wo nun die Sinterung der nicht reducirten Bestandtheile der Erze und Zuschläge ihren Anfang nimmt, ist unter verschiedenen Verhältnissen verschieden und sowohl von der mineralogischen Beschaffenheit der einzelnen Stücke als von der chemischen Zusammensetzung der gesammten Beschickung abhängig. In ersterer Beziehung kommt der Umstand in Betracht, dass manche Bestandtheile der Beschickung — Quarz, Kalk, Magnesia u. a. m. — an und für sich unschmelzbar sind, die Sinterung also erst vor sich gehen kann, wenn zugleich eine Vereinigung mehrerer Körper stattfindet. Da aber diese Vereinigung, d. i. die Schlackenbildung, eine höhere Temperatur ver-

erzeugung oder eine Abminderung des Brennstoffverbrauchs bei Anwendung gebrannten Kalkes statt rohen Kalksteines beobachtet; selten aber sind die erlangten Vortheile so erheblich gewesen, dass sie nicht durch die Kosten des Brennens wieder ausgeglichen worden wären. Dagegen will Cochrane bei einem Hochofen des Cleveländer Bezirkes durch Anwendung gebrannten Kalkes Brennstoff gespart und sonstige Vortheile erlangt haben (Journal of the Iron and Steel Institute 1889 II, p. 388; 1898 I, p. 69).

langt als diejenige, bei welcher die fertig gebildete Schlacke flüssig wird (Seite 190), und eine um so länger fortgesetzte gegenseitige Einwirkung nöthig macht, je weniger hoch die im Ofen herrschende Temperatur über der Schmelztemperatur der fertigen Schlacke liegt, können Gemenge von Erzen und Zuschlägen, die chemisch ganz ähnlich zusammengesetzt sind, dennoch in jener Beziehung ein abweichendes Verhalten zeigen, je nachdem die äussere Form ihrer Bestandtheile die Vereinigung mehr oder weniger erleichtert. Enthielt z. B. die Beschickung Silikate, also bereits fertig gebildete, schmelzbare Verbindungen, so wird die Sinterung frühzeitiger beginnen, als wenn die Bestandtheile dieser Silikate im getrennten Zustande, d. h. als selbständige Körper, zugegen waren; das schmelzende Silikat aber wird verhältnissmässig leicht auch noch andere Bestandtheile der Beschickung auflösen und hierdurch zum Schmelzen bringen. Ein Eisenerz, welches mit fein vertheiltem Quarz durchwachsen, dicht und der Reduction schwer zugänglich ist, wird, wenn es im unvollständig reducirten Zustande einer höheren Temperatur ausgesetzt wird, Neigung zeigen, zu verschlacken; ein anderes Erz von der nämlichen chemischen Zusammensetzung, dessen Kieselsäuregehalt aber aus Anhäufungen einzelner grober Quarzkrystalle besteht, welche wenig Berührung mit dem Eisengehalte oder den sonstigen Bestandtheilen der Erzstücke besitzen, wird einer länger fortgesetzten Erhitzung bedürfen, um verschlackt zu werden. Letzteres Erz bleibt demnach im Hochofen längere Zeit als ersteres im ungeschmolzenen Zustande der reducirenden Einwirkung des Gasstromes ausgesetzt; die entstehende Schlacke ist eisenärmer, das Maass der Reduction durch Kohlenstoff geringer. Lehrreich sind in dieser Beziehung einige durch Schinz angestellte Versuche über das Verhalten von Erzen abweichender Beschaffenheit beim Erhitzen auf verschiedene Temperaturen im kohlenoxydhaltigen Gasstrome. Als er quarzhaltige Erzstücke dieser Einwirkung aussetzte, beobachtete er, dass schon bei 800° C. Eisensilikat im weich gewordenen Zustande sich durch die Erze vertheilte; bei Anwesenheit von Kalk war dies weniger der Fall, der Kalk verschwand zum Theil und durchdrang die Erzstücke, diese aufschwellend, ohne ihre Form zu verändern, und die so durchdrungenen Erze waren porig und leicht zerdrückbar.[1])

In Rücksicht auf diesen Einfluss, welchen die physikalische Beschaffenheit der schlackenbildenden Körper auf die Entstehungstemperatur ausübt, haben auch die früher mitunter angestellten Versuche, die Entstehungstemperatur einer Schlacke durch Zusammenschmelzen der gemischten Einzelbestandtheile zu ermitteln,[2]) geringen Werth (Seite 199). Beim Hochofenschmelzen tritt der Umstand hinzu, dass die Zusammensetzung der entstehenden Schlacke, aus welcher unter der reducirenden Einwirkung der weissglühenden Kohle in dem unteren Theile des Hochofens noch verschiedene Bestandtheile, insbesondere Eisenoxydul und Manganoxydul, austreten, anders ist als diejenige der schliesslich aus dem Ofen ausfliessenden Endschlacke. Man ist daher nicht berechtigt,

1) Dokumente, betreffend den Hochofen, Seite 78.

2) Jahrbuch für Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1879, Seite 168.

aus der Zusammensetzung der letzteren auf ihre Entstehungstemperatur zu schliessen; diese Entstehungstemperatur wird in der Regel tiefer liegen, als wenn die Schlacke bereits ebenso wie bei Beendigung des Schmelzens zusammengesetzt wäre.

Während dieser Sinterung der schlackenbildenden Körper hat das reducirte Eisen aus den glühenden Kohlen mehr und mehr Kohlenstoff aufgenommen und dadurch seine Schmelztemperatur erniedrigt; es beginnt ebenfalls zu schmelzen (Schmelztemperatur 1100—1200°).

Je weiter aber die schmelzenden Massen nach unten rücken, einer desto höheren Temperatur werden sie ausgesetzt, desto stärker wird die reducirende Kraft des Kohlenstoffs (Seite 38). Aus der schon gebildeten Schlacke wird bei ihrer Berührung mit den weissglühenden Kohlen noch Eisen reducirt; basische Beschaffenheit der Schlacke befördert die Eisenreduction, da das Eisenoxydul als basischer Körper um so leichter aus der Schlacke austritt, je höher ihr sonstiger Basengehalt ist.

Eine noch kräftigere Base und schwerer reducirbar als Eisenoxydul ist Manganoxydul; metallisches Mangan kann überhaupt nur durch Kohle, nicht schon in den höheren Theilen des Hochofens durch Kohlenoxyd, reducirt werden (Seite 39 und 325). Basische Beschaffenheit der Schlacke ist demnach für die Reduction reichlicher Mengen Mangan von noch grösserer Bedeutung als für die Reduction des Eisens. Weil aber das Eisen leichter reducirbar ist als Mangan, kann dieses überhaupt erst nach dem Eisen aus der Schlacke reducirt werden. Eine eisenoxydulreiche Schlacke würde auf metallisches Mangan oxydirend wirken und in Berührung mit manganreichem Roheisen ihren Eisengehalt gegen Mangan austauschen.

Mit dem Eisen wird Phosphor aus der Schlacke reducirt, welcher, wie das Mangan nur durch Kohle reducirbar ist. Hierfür ist ein hoher Kieselsäuregehalt der Schlacke förderlich, weil die Phosphorsäure in basischen Schlacken stärker als in sauren gebunden ist; aber das starke Vereinigungsbestreben des Phosphors zum Eisen erklärt es, dass auch aus stark basischen Schlacken die überwiegend grösste Menge des Phosphors reducirt wird. Mit dem in der Schlacke unreducirt zurückbleibenden Eisenoxydulgehalte[1]) steigt und fällt auch der unreducirt zurückbleibende Phosphorgehalt (Seite 316). Hohe Temperatur ist der vollständigen Reduction beider Körper günstig. Dass auch ein Theil des Phosphorgehalts der Beschickung verflüchtig werde, ist mehrfach behauptet worden, aber die Nachweisung von Phosphor in den entweichenden Gasen ist bislang nicht gelungen.[2])

Aehnliche Umstände beeinflussen die Reduction des Siliciums. Aber das Silicium ist noch schwerer reducirbar als Phosphor, und obschon eine hoch getriebene Temperatur im Schmelzraume seine Reduction befördert und es ermöglicht, dass selbst stark basische Schlacken Sili-

1) Eine höhere Oxydationsstufe des Eisens als Eisenoxydul kann in der entstehenden Schlacke überhaupt nicht mehr zugegen sein, nachdem die niederrückenden Erze unausgesetzt den reducirenden Einflüssen des aufsteigenden Gasstroms ausgesetzt gewesen waren und der grösste Theil ihres Eisengehalts bereits zu Metall reducirt wurde.

2) „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 3; 1892, Seite 1011.

cium an das Eisen abgeben (Seite 41), so bleibt immerhin das Verhältniss der in der Schlacke unreducirt zurückbleibenden Kieselsäure zu der als Silicium austretenden erheblich. Eine Schlacke, aus welcher die Kieselsäure annähernd vollständig ausgeschieden wäre, würde ohnehin unschmelzbar sein. Nicht möglich ist auch die Reduction des Siliciums, so lange noch Eisenoxydul in grösserer Menge anwesend ist. Selbst ein grösserer Manganoxydulgehalt der Schlacke vermag die Reduction des Siliciums zu hindern, um so mehr, je stärker basisch die Schlacke ist. Das Mangan ist der leichter reducirbare Körper, und das Manganoxydul unterliegt deshalb früher als Kieselsäure den reducirenden Einflüssen.

Enthielt die Beschickung Zink, so wird dieses in einer Temperatur von 1100° reducirt und, da es nur geringe Fähigkeit besitzt, mit dem Eisen sich zu legiren (Seite 337), auch jene Reductionstemperatur höher liegt als seine Verdampfungstemperatur, von dem aufsteigenden Gasstrome mitgenommen. Die Reduction und Verdampfung des Zinkes aber erheischt einen reichlichen Aufwand an Wärme;[1]) gelangt daher durch Zufall (z. B. durch Abbröckeln zinkischer Anbrüche vom Ofenmauerwerk) einmal mehr Zink nach unten als bei regelmässigem Schmelzgange, so ist eine Temperaturerniedrigung im Schmelzraume die Folge davon. In dem obern Theil des Hochofens wird das verflüchtigte Zink zum grossen Theile durch den hier reichlich anwesenden Wasserdampf- und Kohlensäuregehalt des Gasstromes wieder oxydirt und geht alsdann theils als feiner Staub mit den Gasen davon, theils setzt es sich an den Ofenwänden unterhalb der Gicht fest, hier die erwähnten zinkischen Anbrüche oder den Gichtschwamm bildend (vergleiche auch Seite 337 sowie unten: Nebenerzeugnisse des Hochofenbetriebes). Im Roheisen und in der Schlacke wird nur selten eine Spur von Zink gefunden.

Auch der selten ganz fehlende Kupfer- und Bleigehalt der Beschickung wird bei deren allmählichem Niederrücken reducirt. Das Kupfer legirt sich mit dem Eisen; das Blei geht zum Theile dampfförmig mit dem Gasstrome davon, ein grösserer Theil sinkt unter das Roheisen, ohne von diesem aufgenommen zu werden, sickert durch den Bodenstein und kann unter diesem abgeleitet werden (Seite 341).

Wie das Kupfer verhalten sich Nickel und Kobalt, auch Antimon und Arsen. Trotz seiner Flüchtigkeit bleibt das Arsen zum grossen Theile bei dem Eisen zurück (über das Verhalten des Arsens beim Erhitzen der Erze vergl. Seite 232).

Enthält die Beschickung Titan, Chrom, Vanadin, so pflegt auch von diesen Metallen ein Theil in dem untern Theile des Hochofens reducirt und vom Eisen aufgenommen zu werden, und selbst der Kalium- und Natriumgehalt der Beschickung, theils aus der Asche der Brennstoffe, theils aus den Erzen stammend, bleibt von den hier herrschenden,

1) Die Verbrennungswärme des Zinkes beträgt nach Favre und Silbermann 1291 W.-E. Zur Reduction von 1 kg Zink aus Zinkoxyd sind $^{16}/_{65}$ kg Kohlenstoff erforderlich ($ZnO + C = Zn + CO$), durch deren Verbrennung $^{16}/_{65} \times 2473 = 609$ W.-E. entwickelt werden; daher der Wärmeverbrauch für die Reduction von 1 kg Zink $1291 - 609 = 682$ W.-E. Hierzu kommt die Verdampfungswärme, deren Maass nicht bekannt ist.

stark reducirenden Einflüssen nicht ganz unberührt. Es entstehen unter Mitwirkung des Stickstoffs der eingeblasenen Luft Cyanide, welche zunächst verflüchtigt werden und mit dem Gasstrome aufsteigen. Bell fand in den Gasen eines mit Koks betriebenen Hochofens von 24 m Höhe, welche 2,5 m oberhalb der Form entnommen waren, als Durchschnitt aus sechs verschiedenen Proben in 1 cbm Gas 15 g Cyan neben 29 g Kalium und Natrium;[1]) mehrfach sind bereits früher Vorschläge gemacht worden, das im Hochofen gebildete Cyankalium durch Einlassen einer Röhre in den Raum oberhalb der Formen, wo die grösste Menge dieses Salzes vorhanden ist, für technische Zwecke zu gewinnen. In dem oberen Theile des Ofens zerfallen diese Cyanide wieder, indem sie als Reductionsmittel auf die Eisenoxyde wirken. Jene von Bell untersuchten Gase enthielten an der Gicht nur noch 3,8 g Cyan neben 9 g Alkalien. Von dem ursprünglichen Gehalte waren demnach 80 v. H. Cyan und 69 v. H. Alkalien verschwunden. Die ausgetretenen Alkalien gehen in die Schlacke und geben, wenn sie mit dieser wieder unten angelangt sind, erneute Gelegenheit zur Bildung von Cyaniden.

Endlich gelangen die geschmolzenen Massen in den Verbrennungsraum des Ofens, tropfen hier, wie sich durch die Formen beobachten lässt, zwischen den weissglühenden Kohlen hindurch und sammeln sich im Herde, das Roheisen zu unterst, die Schlacke zu oberst.

Zu den geschilderten Veränderungen, welche die festen Körper bei ihrem Niedergange im Ofen erleiden, stehen die Veränderungen, welchen die Zusammensetzung des Gasgemenges bei dem Aufsteigen von der Formgegend bis zur Gicht unterworfen ist, in enger Beziehung.

Durch die Formen wird gepresste atmosphärische Luft eingeblasen, bestehend aus einem Gemenge von Stickstoff und Sauerstoff, daneben auch kleine Mengen Kohlensäure und Wasserdampf enthaltend.

Sobald die Luft auf die bei ihrem Niedergange schon stark erhitzten Kohlen trifft, beginnt die Verbrennung. Sie verläuft um so rascher, d. h. der eingeblasene Sauerstoff wird um so früher verzehrt, je höher die Temperatur in dem Verbrennungsraume und je vollständiger, ausgedehnter die gegenseitige Berührung zwischen Luft und Brennstoff ist. Daher befördern Erhitzung des Windes und seine Vertheilung in zahlreiche einzelne Strahlen mit grösserer Gesammtoberfläche, porige Beschaffenheit des Brennstoffs und auch stärkere Pressung des Windes, durch welche er befähigt wird, zwischen den Stücken des Brennstoffs hindurch seinen Weg bis in die Mitte des Ofens zu nehmen, und welche ihn in innigere Berührung mit dem Brennstoffe bringt, die rasche Verbrennung. Das Enderzeugniss der Verbrennung ist in allen Fällen Kohlenoxyd, da der Gasstrom immer aufs Neue mit weissglühenden Kohlen in Berührung tritt; dabei ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass bei der ersten Berührung zwischen Brennstoff und Sauerstoff gewisse Mengen von Kohlensäure gebildet werden, welche erst allmählich bis auf kleine etwa zurückbleibende Antheile wieder verschwinden. Ebenso erklärt es sich, dass in den Gasen, die unmittelbar über den Formen dem Hochofen entnommen werden, auch noch unverzehrter Sauerstoff

1) Lowthian Bell, Principles of the manufacture of iron and steel, p. 217.

gefunden werden kann. Van Vloten fand in einer Gasprobe, welche in der Formenebene eines mit Koks auf weisses Roheisen betriebenen Hochofens entnommen wurde, in 100 Raumtheilen des Gasgemischs 15,5 Raumtheile Kohlensäure und in einer andern Probe 13 Raumtheile unverzehrten Sauerstoffs neben 6 Raumtheilen Kohlensäure.[1]) Je höher die Temperatur vor den Formen ist, desto rascher verschwindet aller freie Sauerstoff, und Kohlensäure kann überhaupt in sehr hohen Temperaturen nicht mehr bestehen.

Der nächste Zweck der Verbrennung der Kohlen vor den Formen ist die Erzeugung der für das Schmelzen erforderlichen Temperatur. Die bei der Verbrennung entstehende Temperatur ist abhängig von der Wärmeleistung des Brennstoffs, von der stattgehabten Vorwärmung der Brennstoffe und Schmelzmaterialien bei ihrem Niedergange, von der Temperatur des Gebläsewindes, von dem Verhältnisse zwischen der Menge des Brennstoffs und der zu erhitzenden Körper. Es ist leicht zu ermessen, dass unter übrigens gleichen Verhältnissen die Temperatur im Verbrennungsraume sinken muss, wenn das Verhältniss des Erzsatzes zum Brennmaterial gesteigert wird; denn wenn die Menge der wärmeaufnehmenden Körper zunimmt, muss die Temperatur abnehmen (vergl. Seite 56).

Die von der Luft mitgebrachte Kohlensäure bleibt, da ihre Menge unbeträchtlich ist (0,04 v. H. Raumtheile), ohne merklichen Einfluss für das Hochofenschmelzen. Nicht ganz so unwesentlich ist der Wassergehalt des Windes. Bekanntlich steigt die Fähigkeit der atmosphärischen Luft, Wasserdampf aufzulösen, mit der Temperatur; bei 0° Temperatur vermag die Luft 0,35 v. H. ihres Eigengewichtes Wasserdampf aufzunehmen, bei 10° C. 0,70 v. H., bei 20° C. 1,34 v. H. Zur Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff im Hochofen sind 5,65 kg atmosphärische Luft erforderlich; bei einem Wassergehalte der Luft von 0,70 v. H., welcher im Sommer auch bei trockenem Wetter nicht selten vorkommt, werden also für 1 kg verbrannter Kohle 0,04 kg Wasser in den Ofen geführt. Dieser Wasserdampf zersetzt sich in Berührung mit den glühenden Kohlen in Wasserstoffgas und Kohlenoxyd; der hierbei stattfindende Wärmeverbrauch beziffert sich, da 1 kg Wasserdampf bei dieser Umsetzung 1550 W.-E. mehr verbraucht als erzeugt (Seite 109), auf 62 W.-E. Da 1 kg Kohle bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd 2470 W.-E. entwickelt, beträgt jener Wärmeverbrauch in dem angeführten Beispiele 2,5 v. H. von der erzeugten Wärme, und eine grössere Menge Brennstoff ist erforderlich, um die erforderliche Temperatur im Verbrennungsraume zu erzeugen. Unter ungünstigen Verhältnissen kann der Wassergehalt noch erheblich beträchtlicher sein, als oben angenommen wurde, und in demselben Maasse muss sich alsdann auch der Brennstoffverbrauch steigern.

Die besonders an kleineren Hochöfen häufig beobachtete Erscheinung, dass im Winter der Brennstoffbedarf zur Darstellung einer gleichen Menge Roheisens geringer ausfällt als im Sommer, findet in jenem Vorgange ihre Erklärung.

1) „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 28.

Durch die in dem Schmelzraume des Ofens stattfindende Reduction von Mangan, Silicium und Eisen durch Kohle aus den bereits verschlackten Oxyden mehrt sich der Kohlenoxydgehalt des aufsteigenden Gasgemenges, bis dieses nun in jene Gegend des Hochofens einrückt, wo das Kohlenoxyd seine reducirende Einwirkung auf vorhandene Eisenoxyde beginnt, die Schmelzung der letzteren also noch nicht begonnen hat. Von nun an würde bei vollständig regelrechtem Verlaufe des Hochofenschmelzens der Kohlenoxydgehalt der Gase bis zur Gicht immer mehr ab-, der Kohlensäuregehalt immer mehr zunehmen. Nicht immer jedoch entspricht die Zusammensetzung der Gase diesem Verlaufe. Denn auch die niederrückenden Kohlen sind der Einwirkung des aufsteigenden heissen Gasstromes ausgesetzt, und ein Theil der bereits gebildeten Kohlensäure wird durch die Kohlen wieder zu Kohlenoxyd reducirt (Seite 45). Dieser Vorgang ist, sofern die Menge des vor den Formen gebildeten Kohlenoxyds allein ausreicht, die Reduction der Erze zu bewirken, gleichbedeutend mit einem Mehraufwande an Kohlenstoff; denn der hierbei vergaste Kohlenstoff entweicht aus dem Hochofen, ohne irgend für das Hochofenschmelzen nützlich gewesen zu sein. Eine Beschränkung dieser Reduction der Kohlensäure (Verbrennung von Kohlenstoff durch Kohlensäure) ist also wünschenswerth für die günstige Ausnutzung des Brennstoffs.

Befördert wird die Reduction der Kohlensäure zu Kohlenoxyd durch hohe Temperatur, durch längere Zeitdauer der gegenseitigen Einwirkung, durch grosse, vom Kohlenstoff dargebotene Berührungsfläche. Hieraus folgt, dass eine allzu hohe Temperatur in dem Theile des Ofens oberhalb des eigentlichen Schmelzraumes, welche durch vorzeitige Verschlackung unreducirten Eisens den Verlauf des Schmelzens benachtheiligt, auch durch reichlichere Vergasung von Kohlenstoff den Brennstoffverbrauch erhöht, und dass auch in dieser Beziehung eine durch Zersetzung rohen Kalksteines oder roher Brennstoffe herbeigeführte Abkühlung des Ofens unter Umständen günstig auf die Brennstoffausnutzung im Hochofen einwirken kann. Da aber besonders bei Anwendung rohen Kalksteins die Gelegenheit zur Kohlenstoffvergasung durch die ausgetriebene Kohlensäure ausgedehnt wird, so beweist eben dieser Umstand, dass jene mit der Zersetzung verknüpfte Abkühlung ein kräftiges Gegenmittel gegen die Reduction der Kohlensäure durch Kohlenstoff bildet. Ebenso erklärt sich hierdurch die mehrfach besprochene Thatsache, dass die leichtere Bauart der neueren Hochöfen keine nachtheiligen Einflüsse auf die Brennstoffausnutzung hat erkennen lassen.

Auch der Umstand, dass eine übermässige Erhöhung der Hochöfen sich erfahrungsmässig als ziemlich nutzlos für die Brennstoffausnutzung erwiesen hat, lässt sich wenigstens zum Theil auf die vermehrte Vergasung von Kohlenstoff durch Kohlensäure in höheren Oefen zurückführen; denn je höher der Ofen ist, desto länger bleiben Erze und Brennstoffe der Einwirkung des aufsteigenden Gasstromes ausgesetzt, desto umfangreichere Gelegenheit findet sich zwar für die Reduction der Erze durch Kohlenoxyd, daneben aber auch für die Reduction der entstandenen Kohlensäure durch Kohle, und sobald die Höhe des Ofens ausreichend ist, um jene Reduction der Erze zu ermöglichen, muss eine fernere Erhöhung die Gefahr einer Vermehrung der Vergasung von Kohle

unter der längeren Einwirkung der entstandenen Kohlensäure zur Folge haben. Holzkohlen werden leichter verbrannt als Koks, porige Koks leichter als dichte, diese leichter als Anthracite. Die Grenze, wo eine weitere Erhöhung des Ofens aufhört, nutzenbringend für die Brennstoffausnutzung zu sein, muss aber — auch wenn man von der leichteren Zerreiblichkeit der weniger dichten Brennstoffe ganz absieht — um so früher erreicht werden, je leichter verbrennlich der Brennstoff ist, wie aus dem soeben Gesagten über die Folgen einer länger fortgesetzten Einwirkung der Gase auf den Brennstoff folgt. Auch von diesem Gesichtspunkte aus erscheint die Regel berechtigt, dass die Höhe des Ofens um so beträchtlicher sein kann, ehe die Grenze des Zweckmässigen erreicht wird, je schwerer verbrennlich, dichter der angewendete Brennstoff ist.[1])

Kleinstückige Brennstoffe bieten eine grössere Oberfläche dar, liefern also eine ausgiebigere Gelegenheit zu der Reduction von Kohlensäure in dem obern Theile des Ofens als grobstückige. Daher wächst die zweckmässigste Stückgrösse der Brennstoffe mit der Höhe des Ofens.

Waren rohe oder unvollständig verkohlte Brennstoffe aufgegeben, so mischen sich deren flüchtige Zersetzungsgebilde — vornehmlich Wasserstoff, Kohlenwasserstoffe und Kohlenoxyd — mit den aufsteigenden Gasen. Schweres Kohlenwasserstoffgas, sofern solches überhaupt bei der Zersetzung entsteht, zerfällt alsbald, indem es reducirend auf die Erze einwirkt, und leichtes Kohlenwasserstoffgas hinterbleibt.

Unter fortschreitender Vermehrung ihres Sauerstoffgehaltes gelangen die Gase in die Nähe der Gicht, nehmen hier den ausgetriebenen Wasserdampf auf und entweichen schliesslich mit diesem aus dem Ofen.

Dem geschilderten Verlaufe entsprechend bestehen sie an der Gicht aus Stickstoff, Kohlenoxyd, Kohlensäure, Kohlenwasserstoffgas und Wasserstoff; daneben enthalten sie Wasserdampf und den nie ganz fehlenden Gichtstaub, dessen Zusammensetzung unter den Nebenerzeugnissen des Hochofenbetriebes Besprechung finden wird.

Aufschluss über die hier geschilderten Vorgänge geben uns die Analysen der Gase, welche aus verschiedenen Höhenlagen des Hochofens entnommen wurden. In der That verdanken wir solchen Gasuntersuchungen unsere erste Kenntniss von dem eigentlichen Verlaufe des Hochofenschmelzens, und die von Bunsen bei dem kleinen Holzkohlenhochofen zu Veckerhagen bei Kassel im Jahre 1839 ausgeführten Untersuchungen gaben die erste Anregung zu der Ausbildung der Gasanalyse überhaupt. Spätere Untersuchungen wurden durch Ebelmen in Frankreich, Rinman und Fernquist in Schweden, Bunsen und Playfair in England, Tunner, Richter, Kupelwieser und Schöffel in Steiermark durchgeführt.[2])

1) Bei Verwendung von Anthraciten als Hochofenbrennstoff lässt deren Neigung, in kleine Stücke zu zerspringen, welche den Ofen verstopfen können, die Anwendung sehr hoher Oefen nicht thunlich erscheinen.

2) Bunsens Untersuchungen in Veckerhagen: Poggendorffs Annalen, Band 46 (1839), Seite 193, Ebelmens Untersuchungen: Annales des mines, série 3, tome 20, p. 395; série 4, tome 5, p. 24; série 4, tome 19, p. 117; Bunsens und Playfairs Untersuchungen: Report of the British Association 1846, p. 170. Hinsichtlich der bei steirischen Hochöfen ausgeführten Untersuchungen vergleiche Litteratur. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse aller wichtigeren bis zum Jahre 1866 aus-

Nicht ausser Acht lassen darf man freilich den Umstand, dass es, zumal in den unteren Theilen des Hochofens, sehr schwierig ist, richtige Durchschnittsproben der Gase zu erhalten. Denn, wie mehrfach erwähnt wurde, pflegen sich an den Wänden des Ofens die Brennstoffe, in der Mitte die Erze und Zuschläge anzuhäufen; die Gase aber nehmen mit Vorliebe ihren Weg an den Wänden. Gasproben aus der Mitte des Ofens und solche aus der Nähe des Umfangs pflegen deshalb ziemlich abweichende Zusammensetzung zu besitzen, auch wenn sie in ganz der nämlichen Höhenlage entnommen wurden. Gichtgase von annähernd richtiger durchschnittlicher Zusammensetzung lassen sich, sofern der Ofen mit Gichtverschluss versehen ist, aus der Gasleitung entnehmen.

Dennoch sind, wie erwähnt, jene früheren Untersuchungen von hoher Bedeutung für die Erkennung der Vorgänge im Ofeninnern gewesen. Zur Beurtheilung, in welcher Weise sie dazu befähigt waren, möge man Folgendes erwägen.

Der gesammte Sauerstoffgehalt der Hochofengase an irgend einer Stelle entstammt zwei verschiedenen Quellen. Ein Theil ist durch das Gebläse von aussen her zugeführt, und zwar seiner grösseren Menge nach als freier Sauerstoff, in kleinerer Menge als Bestandtheil des Feuchtigkeitsgehaltes des Gebläsewindes. Da dieser Feuchtigkeitsgehalt vor den Formen unter Wasserstoffbildung zerlegt wird, ergiebt die Menge des in den Gasen unmittelbar über den Formen gefundenen Wasserstoffs leicht die zugehörige Menge Sauerstoff; 2 Raumtheile Wasserstoff entsprechen 1 Raumtheil Sauerstoff. Der Stickstoffgehalt der eingeblasenen Luft bleibt, sofern man von der für eine solche Berechnung immerhin nicht sehr wesentlichen Bildung von Cyan und Cyaniden im unteren Theile des Ofens absieht, unverändert. Da nun in der atmosphärischen Luft 100 Raumtheile Stickstoff 26,5 Raumtheilen Sauerstoff entsprechen, lässt sich berechnen, wie viel des in den Gasen enthaltenen Sauerstoffs durch die Gebläseluft eingeführt wurde. Findet sich nun, wie es meistens der Fall ist, ein grösserer Sauerstoffgehalt in den Gasen, so muss er der Beschickung entstammen, und zwar entweder durch Reduction der Erze oder durch Zerlegung von Carbonaten oder auch aus sauerstoffhaltigen Brennstoffen in das Gasgemisch geführt sein. Eine chemische Untersuchung der betreffenden Schmelzmaterialien an der Stelle, wo die Gase entnommen sind, und ein Vergleich mit der Zusammensetzung der Enderzeugnisse (des Roheisens, der Schlacke) würde erforderlichen Falls Aufschluss hierüber geben können. Findet sich dagegen ein geringerer Sauerstoffgehalt in den Gasen, als von aussen zugeführt wurde, so lässt dieser Umstand, sofern nicht Unrichtigkeiten in den Ergebnissen der Untersuchung die Schuld tragen, auf eine stattgehabte Oxydation fester oder geschmolzener Körper (Mangan, Silicium, Eisen) schliessen.

geführten derartigen Untersuchungen findet sich in Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abtheilung 2, Seite 217 ff. In der Jetztzeit pflegt man sich auf die Untersuchung der Gichtgase zu beschränken, deren Zusammensetzung allein schon ausreichend ist, manche werthvolle Schlussfolgerungen auf die Eigenthümlichkeiten des Schmelzganges eines Hochofens zu ermöglichen. Einiges Nähere hierüber wird unten mitgetheilt werden.

Die Berechnung des gesammten Sauerstoffgehaltes der Gase ist nicht schwierig, da er mit Kohle theils zu Kohlensäure, theils zu Kohlenoxyd verbunden ist. 1 Raumtheil Kohlensäure enthält die gleiche Raummenge Sauerstoff, 1 Raumtheil Kohlenoxyd die Hälfte.

Da die Gesammtmenge der Gase sich beim Aufsteigen im Ofen verändert, die Menge des Stickstoffs dagegen annähernd unverändert bleibt, bezieht man am geeignetsten die Ziffern für den an verschiedenen Stellen des Ofens gefundenen Sauerstoff auf 100 Raumtheile Stickstoff. Zum Beispiel:

An irgend einer Stelle des Ofens möge die Zusammensetzung des Gasgemenges folgende sein: 58,80 Raumtheile Stickstoff, 11,20 Raumtheile Kohlensäure, 25,30 Raumtheile Kohlenoxyd, 3,60 Raumtheile Wasserstoff, 0,90 Raumtheile Kohlenwasserstoff (CH_4). Der Wasserstoffgehalt entstammt, sofern er in höher gelegenen Theilen des Ofens gefunden wurde, jedenfalls zum Theil dem Brennstoffe; eine Bestimmung des Wasserstoffs über den Formen lässt erkennen, wie viel durch den Gebläsewind zugeführt wurde. In dem vorliegenden Falle möge der Wasserstoffgehalt der Gase über den Formen 0,70 Raumtheile betragen haben; diese entsprechen alsdann 0,35 Raumtheilen im Wasserdampfe der Gebläseluft eingeführten Sauerstoffs. Mit jenen 58,80 Raumtheilen Stickstoff gelangten $\frac{26,5}{100} \times 58,80 = 15,58$ Raumtheile freier Sauerstoff in den Ofen; also Gesammtmenge des von aussen her zugeführten Sauerstoffs $15,58 + 0,35 = 15,93$ Raumtheile. In den Gasen findet sich:

Sauerstoff der Kohlensäure		11,20	Raumtheile
„ des Kohlenoxyds	$^1/_2 \times 25,30$	12,65	„
Gesammter Sauerstoffgehalt der Gase		23,85	Raumtheile.

Aus der Beschickung stammen also $23,85 - 15,93 = 7,92$ Raumtheile, oder auf 100 Raumtheile Stickstoff bezogen

$$\frac{7,92}{58,80} \times 100 = 13,48 \text{ Raumtheile.}$$

Wie erwähnt, würde eine Ermittelung, ob dieser aus der Beschickung stammende Sauerstoff durch Reduction der Erze oder durch Zerlegung von Carbonaten und Brennstoffen in den Gasstrom geführt sei, durch Untersuchung der Schmelzmaterialien zu erreichen sein; der Ort, an welchem die Gase entnommen wurden, sowie die ursprüngliche Zusammensetzung der Beschickung lassen jedoch immerhin schon einige Schlussfolgerungen zu.

Fernere Aufschlüsse erhält man durch Berechnung des in der Kohlensäure und im Kohlenoxyd auftretenden Kohlenstoffgehaltes der Gase, wiederum bezogen auf 100 Raumtheile anwesenden Stickstoffs. 1 Raumtheil Kohlensäure und 1 Raumtheil Kohlenoxyd enthalten je $^1/_2$ Raumtheil Kohlenstoffdampf. Jenes Gasgemenge mit 58,80 Raumtheilen Stickstoff, 11,20 Raumtheilen Kohlensäure, 25,30 Raumtheilen Kohlenoxyd enthält demnach Kohlenstoff (in Gasform): $^1/_2\ (11,20 + 25,30) = 18,25$, oder auf 100 Raumtheile Stickstoff 31,03 Raumtheile.

Zeigt sich nun bei der Vergleichung des Kohlenstoffgehalts der Gase in verschiedenen Ofenzonen eine Zunahme während des Aufsteigens der Gase, so weist diese hin entweder auf stattgehabte Reduction der Erze durch Kohle oder auf Vergasung von Kohlenstoff durch vorhandene Kohlensäure, welcher Vorgang hinsichtlich seines Einflusses auf den Brennstoffverbrauch im Ofen jenem ähnlich ist, oder auf stattgehabte Zerlegung von Carbonaten. Eine Abnahme des Kohlenstoffgehalts dagegen würde in dem oberen Theile des Ofens auf ein Zerfallen von Kohlenoxyd unter Ablagerung von Kohlenstoff oder auch — bei Anwendung gebrannten Kalksteins oder gerösteter kalkspathhaltiger Erze — auf eine Bindung der Kohlensäure durch das Calciumoxyd der Beschickung hindeuten. In dem unteren Theile des Ofens dagegen würde eine Abnahme des Kohlenstoffgehalts zu berechtigten Zweifeln an der Richtigkeit der Ermittelung der durchschnittlichen Zusammensetzung des Gasgemenges innerhalb des Ofenquerschnitts Veranlassung geben; denn die Menge der kohlenhaltigen Gase, welche etwa von den schmelzenden Massen gelöst und solcherart dem Gasgemenge entzogen werden, oder die Menge des Kohlenstoffs, welcher aus den Gasen an Roheisen abgegeben werden kann, ist zu unbedeutend, um in dieser Weise erkennbar zu werden.

Jene aus dem Kohlenstoffgehalte der Gase sich ergebenden Schlussfolgerungen erhalten eine weitere Ausdehnung durch Ermittelung des Verhältnisses zwischen dem Kohlensäure- und Kohlenoxydgehalte. Durch die Verbrennung der Kohle mit atmosphärischem Sauerstoff vor den Formen entsteht, wie oben erwähnt, schliesslich nur Kohlenoxyd, und die an einzelnen Stellen des Ofenquerschnitts in der Formgegend nachweisbare Kohlensäure (Seite 529) verschwindet um so rascher, je stärker erhitzt der Wind und je leichter verbrennlich der Brennstoff ist. Bei regelrechtem Verlaufe des Betriebes aber muss das Verhältniss der Kohlensäure zum Kohlenoxyd in dem Gasstrome um so grösser werden, je mehr die Gase sich der Gicht nähern, theils in Folge der Reduction der Erze durch Kohlenoxyd, theils — bei kohlensäurehaltiger Beschickung — in Folge der Zerlegung von Carbonaten; auch das schon erwähnte Zerfallen von Kohlenoxyd in sich ablagernden Kohlenstoff und Kohlensäure in der Nähe der Gicht kann die Ursache einer Zunahme dieses Verhältnisses sein. Tritt der umgekehrte Fall ein, eine Abnahme des Kohlensäuregehaltes unter Zunahme des Kohlenoxydgehaltes, so darf man mit Sicherheit auf stattfindende Reduction der Erze durch Kohle oder Vergasung von Kohlenstoff durch vorhandene Kohlensäure schliessen.

Der Wasserstoffgehalt der Gase stammt theils aus der Feuchtigkeit der Gebläseluft, theils aus dem Wasserstoffgehalte der Brennstoffe. Ersterer entsteht in unmittelbarer Nähe der Formen; tritt also beim Aufsteigen der Gase eine Anreicherung ein, so lässt diese auf die zweite Ursache schliessen. Kleine Abminderungen des Wasserstoffgehaltes würden in einzelnen Fällen auf stattgehabte Reduction von Eisenoxyden durch Wasserstoffgas schliessen lassen.

Kohlenwasserstoffe entstehen aus der Zerlegung kohlenwasserstoffhaltiger Brennstoffe. Auch verkohlte Brennstoffe können noch Kohlenwasserstoffe entlassen; bedeutender ist ihre Menge bei Verwen-

dung roher oder unvollständig verkohlter Brennstoffe. Rinman erhielt bei der Erhitzung von Holzkohle auf 800° C. ein Gasgemisch, welches 20,4 v. H. CH_4 enthielt; Bunsen fand in den aus Holzkohlen durch einfache Erhitzung entwickelten Gase 11—21 v. H CH_4. Luftgas aus Holzkohlen enthielt nach Rinman auf 100 Theile Stickstoff 0,5 Theile Kohlenwasserstoff.[1]) In den Hochofengasen findet sich leichtes Kohlenwasserstoffgas (CH_4), sofern der Hochofen mit verkohlten Brennstoffen betrieben wurde, in Mengen bis zu etwa 3 v. H., bei Anwendung roher Brennstoffe mitunter bis 8 v. H. oder etwas darüber und zwar, wie sich von selbst versteht, vorwiegend in der oberen Hälfte des Ofens. Dass schweres Kohlenwasserstoffgas (CH_2) überhaupt nur in Oefen, welche rohe Brennstoffe erhalten, gefunden werde und sich rasch zersetze, wurde schon früher erwähnt.

Beispiele. Schöffel untersuchte 1871 und 1872 die Gase eines mit Holzkohlen betriebenen Hochofens zu Eisenerz.[2]) Die Höhe des ganzen Ofens war 13,3 m, die Höhe des unteren Theils bis zum Kohlensack 3,8 m, des oberen Theils 9,5 m; Durchmesser unten 1,5 m, im Kohlensack 2,6 m, in der Gicht 1,7 m, innerer Durchmesser des eingehängten Gichtcylinders 0,9 m; Rauminhalt des ganzen Hochofens 35 cbm. Durch vier Windformen erhielt der Ofen in der Minute 35 cbm Wind. Die Beschickung bestand aus gerösteten Spatheisenerzen mit etwa 50 v. H. Roheisenausbringen nebst $7^1/_2$ v. H. ihres Gewichtes Zuschlagsthonschiefer und 2 v. H. sogenannten Wascheisens (Eisenkörnern aus den Schlacken, welche auf diese Weise wieder zu Gute gemacht werden). Das Erz enthielt noch 12 v. H. Kohlensäure, welche erst im Ofen ausgetrieben werden musste; unmittelbar aus den Röstöfen, also noch heiss, wurden die Erze in die Hochofengicht eingeschüttet, und aus diesem Grunde erreichte die Gichttemperatur nahezu 500° C., war also ausnahmsweise hoch. Der Ofen lieferte in 24 Stunden 18,5 Tonnen weisses Roheisen nebst etwa 13,5 Tonnen Schlacken und gebrauchte zur Darstellung von 100 kg Roheisen nur etwa 75 kg Holzkohlen. Die Durchsetzzeit für die Beschickung betrug nur etwa 7 Stunden.

Die Gasanalysen lieferten die auf folgender Seite zusammengestellten Ergebnisse:[3])

Betrachtet man zunächst die Veränderungen des Sauerstoffgehaltes aus der Beschickung,[4]) so zeigt sich, wie es dem Verlaufe des Schmelzens entspricht, eine stetige Zunahme von den Formen an aufwärts bis zur Höhe von 4,4 m unter der Gicht, und zugleich lässt ein Vergleich der einzelnen Ziffern erkennen, dass diese Zunahme von den Formen an bis zu der Höhe von 10,1 m unter der Gicht (ungefähr der Gegend des Kohlensackes) rasch, von da an allmählich stattgefunden hat. Die

1) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, 1. Auflage, Abtheilung 2, Seite 281.

2) Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Band 21, Seite 188.

3) Wo in der angegebenen Quelle mehrere Bestimmungen angeführt sind, wurden die Durchschnittsziffern angenommen; einzelne der zahlreichen Bestimmungen, deren Zuverlässigkeit etwas zweifelhaft erschien (8 m und 8,8 m unter der Gicht), wurden ganz ausgelassen.

4) Bei der Berechnung des Sauerstoffgehaltes wurde angenommen, dass der Wasserstoffgehalt in der Formgegend von der Feuchtigkeit des Gebläsewindes herrühre, die Anreicherung des Wasserstoffgehaltes beim Aufsteigen der Gase dagegen aus dem Wasserstoffgehalte der Holzkohlen abzuleiten sei.

Tiefe der Entziehungsstelle unterhalb der Gicht	Kohlensäure	Kohlenoxyd	Leichtes Kohlenwasserstoffgas	Wasserstoff	Stickstoff	Auf 100 Raumtheile Stickstoff: Sauerstoff aus der Beschickung	Auf 100 Raumtheile Stickstoff: Kohlenstoff (gasförmig)	Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$
	Raumtheile					Raumtheile		
Gicht	13,96	24,44	0,34	4,85	55,42	19,5	34,6	0,57
4,4 m (8,3 m über der Form)	14,64	26,30	—	8,20	50,86	26,7	40,2	0,55
5,7 „ (7,0 „ „ „ „)	12,67	25,99	0,93	6,90	53,15	20,5	37,2	0,49
9,1 „ (3,6 „ „ „ „)	12,78	28,57	0,20	2,84	56,23	20,3	36,8	0,44
10,1 „ (2,6 „ „ „ „)	12,07	29,33	0,03	2,78	56,55	19,5	36,7	0,41
10,7 „ (2,0 „ „ „ „)	7,92	29,01	—	2,31	60,76	9,2	30,4	0,27
Formengegend	2,07	33,72	0,06	1,39	62,63	2,7	28,5	0,06

Reduction ging also vorzugsweise in dem unteren Theile des Hochofens vor sich, welcher Umstand durch gleichzeitig vorgenommene Untersuchung der Erze aus diesem unteren Theile bestätigt wurde und seine ausreichende Erklärung in dem raschen Verlaufe des Schmelzens (der kurzen Durchsetzzeit) findet. Die reichlichere Zunahme des Sauerstoffgehalts zwischen 5,7 und 4,4 m unterhalb der Gicht im Verein mit der ebenda stattgehabten Anreicherung des Kohlenstoffgehalts lässt auf Zerlegung von Carbonaten schliessen; da aber die Zunahme des Sauerstoffgehalts beträchtlicher als die des Kohlenstoffgehalts ist, muss auch eine Umwandlung von Fe_2O_3 in eine niedrigere Oxydationsstufe stattgefunden haben. Auffällig dagegen ist die Sauerstoffabnahme an der Gicht, welche, wie man sieht, mit einer Kohlenstoffabnahme Hand in Hand geht. Theilweise lässt sich diese Erscheinung auf eine Aufnahme von Kohlensäure durch den Kalkgehalt der gerösteten Erze zurückführen, zum grösseren Theile aber dürfte sie auf einer Entmischung des Gasstromes, befördert durch die unterhalb der Gicht stattgehabte Entziehung eines Theiles der Gase, beruhen. Jedenfalls deutet die Zusammensetzung der Gase an der Gicht darauf hin, dass eine Reduction der Erze in diesem oberen Theile des Ofens noch nicht stattgefunden hat.

Der Kohlenstoffgehalt der Gase steigt von der Formgegend an aufwärts bis zur Höhe von 10,1 m unterhalb der Gicht (Kohlensack), welcher Umstand theils durch die Zersetzung des Restes von Carbonaten erklärt wird,[1]) zugleich aber auch auf Reduction der Erze durch Kohle oder Vergasung von Kohle durch Kohlensäure hinweist. Dass jedoch neben der Reduction durch Kohle auch die Reduction durch Kohlenoxyd noch eine Rolle in diesem unteren Theile des Ofens spielt, und dass nicht alle aus der Reduction durch Kohlenoxyd oder aus dem Zerfallen der Carbonate hervorgegangene Kohlensäure wieder zu Kohlenoxyd reducirt wird, beweist die starke Zunahme des Verhältnisses $\frac{CO_2}{CO}$ in eben derselben Gegend.

1) In den Erzen wurden in der Höhe von 10,7 m unter der Gicht noch 5 v. H. Kohlensäure gefunden.

Von da an bis 5,7 m unter der Gicht bleibt der Kohlenstoffgehalt der Gase annähernd unverändert, während das Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$ allmählich zunimmt, ein Beweis, dass in dieser Zone des Ofens die Reduction durch Kohlenoxyd vorherrschte, wenn auch ihr Maass nicht bedeutend war. Die stärkere Zunahme des Kohlenstoffgehaltes in dem Raume bis 4,4 m unterhalb der Gicht ist durch Austreibung des ersten Theiles der in den aufgegichteten Erzen vorhandenen Kohlensäure zu erklären; auch die fernere Steigerung des Verhältnisses $\frac{CO_2}{CO}$ deutet hierauf hin. Die muthmaasslichen Ursachen der Abnahme des Kohlenstoffgehaltes an der Gicht wurden bereits erörtert.

Als ein Beispiel, wie abweichend die Zusammensetzung der Gase an den Wänden und in der Mitte des Ofens zu sein pflegt, mögen die folgenden von Rinman mitgetheilten Ergebnisse dienen, welche bei einem mit gerösteten Magneteisenerzen betriebenen schwedischen Holzkohlenhochofen von 12,02 m Höhe von der Form bis zur Gicht erhalten wurden.[1])

Höhe über der Form	An den Wänden (Raumtheile)					In der Mitte (Raumtheile)				
	N	CO_2	CO	H	CH_4	N	CO_2	CO	H	CH_4
10,09	58,80	11,20	25,50	3,60	0,90	—	—	—	—	—
6,97	61,90	4,90	30,75	2,45	—	61,00	8,75	26,65	3,50	0,10
4,38	65,45	1,10	32,35	1,10	—	—	—	—	—	—
2,15	68,80	4,20	26,30	0,70	—	64,05	2,35	33,05	0,55	—

Ermittelt man aus diesen Ziffern wiederum den aus der Beschickung aufgenommenen Sauerstoff, den Kohlenstoffgehalt und das Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$, so erhält man als Durchschnittswerthe:

Höhe über der Form	Sauerstoff aus der Beschickung (Raumtheile)	Kohlenstoff gasförmig (Raumtheile)	Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$
10,09 m	14,2	31,2	0,44
6,97 „	8,0	28,9	0,24
4,38 „	0,0	25,5	0,03
2,15 „	0,8	24,4	0,18

Die Ziffern lassen grosse Abweichungen in dem Schmelzgange des Ofens im Vergleiche mit dem des Ofens zu Eisenerz erkennen. Der Sauerstoffgehalt der Gase findet hier erst in einer Höhe von fast 7 m über den Formen, also etwas oberhalb der Mitte der ganzen Ofenhöhe, eine wesentliche Anreicherung, ein Beweis, dass die Reduction zum grossen Theile in der oberen Hälfte dieses Ofens vor sich geht. Dieser Umstand findet seine Erklärung in dem weit langsameren Ver-

1) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, 1. Auflage, Abtheilung 2, Seite 226.

laufe des Schmelzganges. Wie nämlich aus den a. a. O. gemachten Mittheilungen (3 Windformen von 50 mm Durchmesser, Windspannung 43 mm Quecksilbersäule, Windtemperatur 75° C.) hervorgeht, erhielt der Ofen in der Minute höchstens 20 cbm Wind, also etwa halb so viel als der Eisenerzer Ofen, während der räumliche Inhalt beider Oefen annähernd gleich, das Verhältniss des Erzsatzes zum Brennstoff aber in dem Eisenerzer Ofen etwas höher war als in dem schwedischen. Die Durchsetzzeit der Erze war also länger, die Gichttemperatur, über welche leider keine Angaben vorliegen, vermuthlich hoch.

Die Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd durch den Gebläsewind verlief ziemlich langsam, wie aus der anfänglichen Abnahme des Verhältnisses $\frac{CO_2}{CO}$ zu ersehen ist und aus der niedrigen Temperatur des Gebläsewindes sich erklärt; dann aber tritt, wie aus der in der Höhe von 4,38 m beginnenden Zunahme jenes Verhältnisses sich schliessen lässt, Reduction der Erze durch Kohlenoxyd ein und neben dieser auch theilweise Reduction durch Kohle oder Vergasung von Kohlenstoff durch die entstehende Kohlensäure (daher Anreicherung des Kohlenstoffgehaltes in den Gasen).

Obgleich die gegebenen Beispiele einer schon mehrere Jahrzehnte zurückliegenden Zeit entstammen, und obgleich die Betriebsverhältnisse der Hochöfen, deren Gase man untersuchte, ziemlich abweichend von den Betriebsverhältnissen der meisten jetzigen Hochöfen waren, können die Beispiele immerhin als Beweise dienen, dass die Zusammensetzung der Hochofengase gewissermaassen einen Spiegel bildet, in welchem die Vorgänge im Innern mit ziemlicher Deutlichkeit erkennbar sind.

Dass ein Hochofengang, bei welchem alles entwickelte Kohlenoxyd zur Reduction der Erze verbraucht sei, die Gichtgase demnach frei von Kohlenoxyd wären, überhaupt unmöglich ist, ergiebt sich aus der früher besprochenen Thatsache, dass bei der Reduction durch Kohlenoxyd metallisches Eisen aus Eisenoxydul nur bei einem Ueberschusse des Reductionsmittels entstehen kann, welcher grösser ist, als dass er zur Reduction der sauerstoffreicheren Eisenoxyde zu Eisenoxydul in dem obern Theile des Ofens aufgebraucht werden könnte (Seite 286). Dennoch kennzeichnet das gegenseitige Verhältniss, in welchem Kohlensäure und Kohlenoxyd in den Gichtgasen sich finden, in gewisser Weise die mehr oder minder günstige Ausnutzung des Brennstoffs im Hochofen. Denn da zur Durchführung des Schmelzens, d. h. zur Darstellung einer bestimmten Menge Roheisen, auch eine bestimmte Wärmemenge erforderlich ist, die Wärmeentwickelung aber bei der Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd geringer sich beziffert als bei der Verbrennung zu Kohlensäure, wird immerhin für die Erzeugung jener Wärmemenge ein um so grösserer Brennstoffaufwand nothwendig sein, je grösser die Menge des in den Gichtgasen noch anwesenden Kohlenoxydes ist. In naher Beziehung hierzu steht die Thatsache, dass jede Reduction von Kohlensäure durch Vergasung von Kohle in den oberhalb des Verbrennungsraums gelegenen Ofentheilen mit einem Verluste dieser Kohle gleichbedeutend ist, sowie ferner der Mehrverbrauch an Wärme bei Reduction durch Kohle gegenüber der Reduction durch Kohlenoxyd. In beiden Fällen, bei Vergasung festen Kohlenstoffs durch

Kohlensäure wie bei vermehrter Reduction durch Kohle, wird der Brennstoffaufwand zur Darstellung einer bestimmten Roheisenmenge grösser, das Verhältniss der Kohlensäure zum Kohlenoxyd in den Gichtgasen geringer. Je niedriger demnach der zur Erzeugung einer bestimmten Menge Roheisen erforderliche Brennstoffverbrauch war, desto höher wird im Allgemeinen das Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$ in den Gichtgasen ausfallen. Jener Brennstoffverbrauch aber ist durch mehrfache Einflüsse bedingt. Reducirbarkeit und Eisengehalt der Erze, Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens sind in erster Reihe hierbei maassgebend. Fernerhin darf nicht ausser Betracht gelassen werden, dass jenes Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$ bei Hochöfen, deren Beschickungen grosse Mengen von Carbonaten enthalten, deren Erze also z. B. eines reichlichen Kalksteinzuschlages bedürfen, an und für sich schon grösser sein muss als in Hochöfen mit kohlensäurearmen Beschickungen. Falsch würde es daher sein, wenn man jenes Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$ ohne Weiteres als Maassstab benutzen wollte, um darnach die Betriebsweise zweier unter verschiedenen Verhältnissen arbeitender Hochöfen zu vergleichen.

Um einen Ueberblick zu erhalten, in welchem Theile des Hochofens sich dieser oder jener der besprochenen Vorgänge vollzieht, auch um einen Vergleich der Eigenthümlichkeiten des Schmelzganges verschiedener Hochöfen anstellen zu können, hat man mehrfach Temperaturmessungen des Ofeninnern an verschiedenen Stellen ausgeführt.[1]) Unmittelbar über den Formen fand man Temperaturen von 1600° bis 2000°, bei Weisseisendarstellung niedriger, bei Graueisendarstellung höher; in der Gegend des Kohlensacks 700 bis 1500°, bei grossen Oefen auch wohl noch darüber; an der Gicht die schon mitgetheilten Temperaturen, meistens 200 bis 400°. Eine einigermaassen zuverlässige derartige Ermittelung begegnet indess erheblichen Schwierigkeiten. Die zur Messung hoher Temperaturen geeigneten Pyrometer lassen sich in das Ofeninnere kaum einführen, ohne einer Gefahr der Beschädigung unterworfen zu sein, und die genaueren Pyrometer der Neuzeit (z. B. das Pyrometer von Le Chatelier) besass man damals, als jene Untersuchungen ausgeführt wurden, überhaupt noch nicht. Man benutzte gewöhnlich Metalllegirungen, in einem Eisenstabe befestigt, nach deren Verhalten — ob sie schmolzen oder nicht — man die Temperatur schätzte. Hierzu kommt aber der Umstand, dass in einem und demselben Ofenquerschnitte ziemlich grosse Temperaturunterschiede obzuwalten pflegen, je nachdem die Messung in der Mitte oder in der Nähe des Umfanges angestellt wurde. Letztere Thatsache kann durch nachstehende Zusammenstellung der Temperaturen veranschaulicht werden, welche durch Wiebmer bei einem Gleiwitzer Hochofen ge-

1) Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Band 21, Seite 232 (Kupelwieser); Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staate, Band 19 (Jüngst).

messen wurden.[1]) Der Ofen maass 13,6 m von der Formebene bis zur Gicht; Durchmesser in der Formebene 2,56 m, im Kohlensack 5,34 m, in der Gicht 3,92 m; Rauminhalt des Ofens 215 cbm. Die Windtemperatur betrug 350° C., Windmenge 150 cbm in der Minute. Die Beschickung bestand für jede Gicht aus 180 kg Frischschlacken, 135 kg Brauneisenstein, 135 kg Spatheisenstein (von letzterem die Hälfte roh, die andere Hälfte geröstet) nebst 165 kg Zuschlagskalkstein. Die Durchsetzzeit war fast 24 Stunden, die Erzeugung in 24 Stunden 36 Tonnen weisses Roheisen, der Koksverbrauch zur Darstellung von 100 kg Roheisen 155 kg.

Die gemessenen Temperaturen waren folgende (in Graden Celsius):

	Formebene	0,44 m	1,47 m	5,54 m	7,64 m	9,83 m	12,03 m	Gicht
		über der Formebene						
Ofenmitte	1300°	1400°	1400°	1200°	955°	850°	680°	140
Zwischen Mitte und Wand	1500°	1500°	1300°	1000°	700°	525°	432°	bis
An den Wänden . . .	1600°	1300°	1400°	1200°	900°	815°	575°	290°

In der Mitte und unmittelbar an den Wänden herrschte demnach ziemlich regelmässig die höchste Temperatur, und dazwischen befand sich ein kühlerer Ring. In dem oberen Theile des Ofens aber zeigte sich auch an den Wänden eine rascher fortschreitende Abkühlung als in der Mitte des Ofens.

Letztere Erscheinung lässt sich aus dem Umstande erklären, dass beim Aufgichten die Erze mehr an dem Umfange, die Koks mehr in der Mitte des Ofens angehäuft wurden; erstere aber verbrauchen wegen ihres grösseren Wassergehaltes sofort reichlichere Wärmemengen als letztere. Die höhere Temperatur an den Ofenwänden im Vergleich zu der Temperatur zwischen Wand und Ofenmitte findet ihre Erklärung in dem Bestreben der Gase, an den Wänden aufzusteigen.

b) Einfluss der Windpressung und Windmenge.

Zur Erlangung eines befriedigenden Schmelzganges des Hochofens mit thunlichst geringem Brennstoffverbrauche ist eine bestimmte Windpressung (Spannung) und eine bestimmte Windmenge erforderlich, deren Maass vornehmlich von den Abmessungen des Ofens und der Beschaffenheit des Brennstoffs abhängt.

Mit der Windpressung wächst die Geschwindigkeit und mit dieser die lebendige Kraft des Windes. Durch stärkere Pressung wird demnach der Wind befähigt, die Widerstände, welche sich seinem Vordringen zwischen den Stücken des Brennstoffs hindurch bis zur Mitte entgegenstellen, erfolgreicher zu überwinden. Die Sauerstofftheilchen prallen mit grösserer lebendiger Kraft gegen die Kohlenstücke an und treten in innigere Berührung mit diesen; die Verbrennung zu Kohlen-

1) Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staate, Band 22, Seite 289. Auch durch Tunner wurden Versuche über diese Abweichungen der Temperatur angestellt (Jahrbuch der Bergakademieen, Band 9, Seite 296).

oxyd wird beschleunigt, die Verbrennung auf einen kleineren Raum zusammengedrängt. Je dichter, d. i. schwerer verbrennlich, der Brennstoff ist, desto höhere Pressung ist demnach erforderlich. Koks erheischen stärkere Windpressung als Holzkohlen, Anthracite stärkere als Koks.

Damit aber das Ziel, den Wind bis zur Ofenmitte vordringen zu lassen, erreicht werde, muss auch die Pressung mit dem Durchmesser des Ofens in der Formenebene wachsen. Dass bei weiten Gestellen das Vordringen des Windes bis zur Ofenmitte durch Vorschieben der Windformen erleichert werden könne, wurde auf Seite 420 hervorgehoben.

Die mit dem Manometer messbare Windpressung ist aber nicht allein von der Windgeschwindigkeit, sondern auch von der im Hochofen herrschenden Gasspannung abhängig. Mit der letzteren muss die Windpressung wachsen, damit der eintretende Wind die Kraft besitze, die Gase im Ofen empor zu treiben. Die Gasspannung im Ofen nimmt mit dessen Höhe zu, da sie durch die Widerstände hervorgerufen wird, welche die Gase beim Durchdringen der Schmelzsäule finden. Auch die Stückgrösse der Beschickung ist von Einfluss. Je feinstückiger die Bestandtheile der Beschickung, insbesondere die Erze, sind, desto dichter liegen sie, desto grösseren Widerstand setzen sie dem Aufsteigen des Gasstromes entgegen. Hieraus folgt, dass das Maass der Windpressung auch mit der Höhe des Ofens und der Dichtigkeit der Beschickung zunehmen muss.

Eine übermässig gesteigerte Windpressung kann dagegen Stauungen der eintretenden Windströme herbeiführen, hierdurch die Windvertheilung ungleichmässiger gestalten und die Leistung des Gebläses beeinträchtigen. Je enger der Ofen in der Formenebene ist, desto leichter muss dieser Nachtheil eintreten und ein zu weites Vorschieben der Windformen in den Ofen hat den nämlichen Erfolg (Seite 421).

Erhöht man bei einem Hochofen die Windpressung, ohne den Düsenquerschnitt zu verringern, so führt man eine grössere Windmenge in den Ofen. Mehr Brennstoff als zuvor wird in derselben Zeit verbrannt, eine grössere Wärmemenge wird erzeugt, die Durchsetzzeit für die Erze wird abgekürzt, die Erzeugung des Ofens wächst. Die Gase steigen, da ihre Menge im geraden Verhältnisse zu der Menge des verbrannten Kohlenstoffs steht, mit beschleunigter Geschwindigkeit im Ofen auf und verlassen ihn im heisseren Zustande; die Gichttemperatur steigt. Entsprach die Windmenge zuvor dem günstigsten Verlaufe des Schmelzganges, so muss dieser durch die Vermehrung der Windmenge geschädigt werden, und für die Darstellung einer bestimmten Roheisenmenge muss der Brennstoffverbrauch wachsen. Denn die rascher niederrückenden Erze gelangen weniger vorbereitet in den Schmelzraum, mehr Eisen wird hier verschlackt und muss durch Kohle statt durch Kohlenoxyd reducirt werden; die heisseren Gichtgase aber führen grössere Windmengen als früher ungenutzt davon.

Aber auch eine zu geringe Windmenge ist nachtheilig für die Ausnutzung des Brennstoffs. Weniger Wärme wird in bestimmter Zeit entwickelt, und die unvermeidlichen Wärmeverluste durch Ausstrahlung, Kühlwasser verringern sich nicht in dem gleichen Maasse, das Verhältniss zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeverlusten wird ungünstiger.

Nicht minder wichtig ist der Umstand, dass die langsamer aufsteigenden Gase längere Zeit als sonst mit den niederrückenden Kohlen in Berührung bleiben, und dass hierdurch reichlichere Gelegenheit zur Reduction von Kohlensäure durch Kohle gegeben ist. Mehr Kohle als sonst wird hierdurch ihrer Bestimmung entzogen.

Mit der Grösse des Ofens muss demnach die zur Erzielung des günstigsten Schmelzganges erforderliche Windmenge wachsen. Auch die Beschaffenheit der Erze spricht hierbei mit. Schwer reducirbare Erze erfordern eine längere Durchsetzzeit als leicht reducirbare; Hochöfen, welche die ersteren verhütten, vertragen nicht die gleiche Windmenge wie jene, in denen die letzteren geschmolzen werden.

Die von der Windmenge und der Grösse des Hochofens abhängige Durchsetzzeit beträgt bei kleinen, mit Holzkohlen und leicht reducirbaren Erzen auf Weisseisen betriebenen Oefen bisweilen nicht mehr als 6 Stunden und kann bei sehr grossen, auf graues Roheisen betriebenen Hochöfen bis auf 60 Stunden sich erhöhen.[1]) In der Regel findet man eine Durchsetzzeit von 12 bis 24 Stunden.[2])

c) Einfluss der Winderhitzung auf die Vorgänge im Hochofen.

Nachdem auf Neilsons Vorschlag die Anwendung erwärmten Windes in Schottland zuerst versucht worden war, zeigte sich bald, dass schon eine mässige Erwärmung ausreichend sei, eine nicht unwesentliche Ersparung an Brennstoff und eine Erhöhung der Roheisenerzeugung des Ofens zu erzielen. Dieser günstige Erfolg wuchs, als man durch Verbesserung der Winderhitzer sich befähigt sah, höhere Windtemperaturen als im Anfange hervorzubringen; aber gleichzeitig beobachtete man, dass die Eigenschaften des erfolgenden Roheisens andere wurden, wenn man mit erhitztem, als wenn man mit kaltem Winde arbeitete. Erst nachdem man gelernt hatte, theils durch passende Aenderung der Beschickung jenen Einflüssen auf die Beschaffenheit des Roheisens entgegen zu wirken, theils das erfolgende Roheisen seiner geänderten Beschaffenheit gemäss zu verwenden, verstummten die Gegner der Anwendung heissen Windes, welche — ziemlich beträchtlich an Zahl — in der vermeintlichen, durch die Winderhitzung hervorgerufenen Verschlechterung des Roheisens einen grösseren Nachtheil zu sehen glaubten, als durch den erreichbaren Nutzen ausgeglichen werden könne.[3])

1) Oesterreichische Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 479.

2) „Stahl und Eisen" 1895, Seite 141 (Weinlig).

3) So z. B. erwies sich das bei heissem Winde erzeugte Roheisen für die unmittelbare Herstellung von Gusswaaren aus dem Hochofen oft als weniger brauchbar, da es siliciumreicher war und stärker zur Gaarschaumbildung neigte, als das bei kaltem Winde erblasene. Auch war seine Festigkeit etwas geringer. Der erstgenannte Uebelstand lässt sich durch die Wahl einer geeigneten Beschickung und durch Regelung des Schmelzganges beseitigen; wo man aber das Verfahren des unmittelbaren Gusses aufgab, und das Roheisen demnach wieder umschmolz, erhielt man bei heissem Winde ein für diese Betriebsweise unleugbar besser geeignetes Roheisen als bei kaltem Winde. Auch die beobachtete Abminderung der Festigkeit des Roheisens lässt sich durch die erwähnten Mittel auf ein geringeres Maass zurückführen, und in keinem Falle ist sie so erheblich, dass sie in gewöhnlichen Fällen eine triftige Veranlassung bilden könnte, auf die Vortheile der Anwendung erhitzten Windes zu verzichten.

Als man nun später anfing, den Einfluss des heissen Windes wissenschaftlich zu untersuchen, ergab sich in zahlreichen Fällen die überraschende Thatsache, dass durch die Erwärmung des Windes nicht unerheblich mehr Brennstoff erspart werde, als zur Erzeugung der vom Winde mitgebrachten Wärme erforderlich gewesen sein würde; ausserdem liess sich ziemlich regelmässig die Beobachtung machen, dass die Gicht des Hochofens um so kühler wurde, je stärker man den Wind erhitzte.

Beide Wahrnehmungen stehen in naher Beziehung zu einander. Der Hochofen bedarf für jedes Kilogramm darzustellenden Roheisens einer gewissen Wärmemenge, und die Erzeugung dieser Wärmemenge ist, wie oben erwähnt wurde, der erste Zweck der Verbrennung von Kohle durch eingeblasene Luft. Jedes Kilogramm der zu diesem Zwecke verbrannten Kohle liefert eine bestimmte Gasmenge, welche im Ofen emporsteigt. Wenn nun aber ein Theil jener erforderlichen Wärme, statt durch Verbrennung von Kohle erzeugt zu werden, durch den erwärmten Gebläsewind von aussen zugeführt wird, muss offenbar die entstehende Gasmenge um ebenso viel geringer ausfallen, als jener Ersparung an Brennstoff entspricht; die geringere Menge Gase aber giebt ihre Wärme rascher und vollständiger an die entgegenrückenden festen Körper ab als die grössere Menge Gase bei kaltem Winde; die Wärme wird also günstiger ausgenutzt als in letzterem Falle, und hierdurch wird eine zweite Menge Brennstoff gespart; die Folge davon ist aber, dass die Gase in abgekühlterem Zustande den Ofen verlassen. Die Gichttemperatur sinkt.

Da die gleiche Brennstoffmenge bei heissem Winde grössere Erzmengen trägt als bei kaltem, erhöht sich in gleichem Maasse die Erzeugung des Ofens, sofern die zugeführte Windmenge in beiden Fällen dieselbe ist.

In Folge der Zuführung äusserer Wärme steigt aber bei Anwendung erhitzten Windes die Temperatur vor den Formen (vergl. Seite 56); in der höheren Temperatur wächst das Vereinigungsbestreben des Kohlenstoffs zum Sauerstoff, und rascher als bei dem Betriebe mit kaltem Winde geht die Verbrennung vor sich, d. h. verschwinden der freie Sauerstoff sowie die zunächst gebildete Kohlensäure. Die Wärmeentwickelung wird bei Anwendung heissen Windes auf einen kleineren Raum im Ofen beschränkt.

Jene höhere Temperatur vor den Formen aber sinkt rascher als bei dem Betriebe mit kaltem Winde. Die Ursache dieser Erscheinung wurde bereits erwähnt; der gleichen Gasmenge treten grössere Mengen wärmeaufnehmender Körper entgegen, welche ihr rascher Wärme entziehen. Die für den Verlauf des Schmelzganges und die Ausnutzung des Brennstoffs so nachtheilige Entstehung von Oberfeuer (Aufsteigen der Schmelztemperatur nach oben) wird also durch Anwendung heissen Windes auf seltenere Fälle beschränkt. Anderntheils kann unter Umständen, z. B. bei einem Hochofen, welcher wasserreiche Erze schmelzt und demzufolge eine kühle Gicht besitzt, durch die Erniedrigung der Gichttemperatur auch die Vorbereitung der Erze in dem oberen Theile des Ofens verzögert werden; die Reduction beginnt später, und die Reduction durch Kohlenoxyd kann hierdurch eingeschränkt werden.

Je weniger hoch der Ofen ist, je weniger lange mithin die Erze der Einwirkung des Gasstromes ausgesetzt bleiben, desto leichter müssen die Folgen hiervon bemerkbar werden.

Die Verbrennung von Kohlenstoff vor den Formen hat aber neben der Erzeugung von Wärme noch den andern nicht minder wichtigen Zweck, das als Reductionsmaterial erforderliche Kohlenoxyd zu liefern. Wird durch Erwärmung des Gebläsewindes Kohlenstoff erspart, so verringert sich dadurch auch die Menge des entstehenden Kohlenoxydes; bei weiterer Verringerung des Brennstoffs muss also eine Grenze erreicht werden, wo die Menge des vor den Formen entstehenden Kohlenoxydes nicht mehr ausreichend ist, die Reduction durchzuführen, und wo demnach Reduction durch Kohle, gleichbedeutend mit einem erhöhten Wärmeverbrauche, an deren Stelle tritt. Je weniger Brennstoff schon bei kaltem Winde zur Durchführung des Schmelzens, d. h. zur Darstellung einer bestimmten Menge Roheisen, erforderlich war, desto früher muss jener Zeitpunkt eintreten; bei einer leicht reducirbaren Beschickung also früher als bei einer schwer reducirbaren; bei Darstellung von gewöhnlichem silicium-, phosphor- und manganarmen Weisseisen früher als bei Darstellung von Roheisensorten, welche einen grösseren Gehalt von Silicium, Phosphor oder Mangan aufnehmen sollen, also von Körpern, deren Reduction durch Kohle ohnehin einen grösseren Aufwand von Wärme nothwendig macht.

Die Vortheile der oben erwähnten Beschränkung des Verbrennungsvorganges auf einen kleineren Raum treten aber um so deutlicher hervor, je schwerer verbrennlich der angewendete Brennstoff ist; bei Anthraciten mehr als bei Koks, bei diesen mehr als bei Holzkohlen.

Aus allem Gesagten folgt, dass die Grenze der Windtemperatur, über welche hinaus eine fernere Steigerung aufhört, Nutzen zu bringen, unter Umständen sogar nachtheilig wirkt, um so tiefer liegt,

je kleiner der Ofen und je kälter seine Gicht ist;
je leichter reducirbar die Erze sind;
je weniger reich an Mangan, Silicium oder Phosphor das erfolgende Roheisen werden soll;
je leichter verbrennlich der Brennstoff ist.

Die Beobachtungen des Betriebes bestätigen diese Schlussfolgerungen. Während bei grossen mit Koks (Steinkohlen, Anthraciten) gespeisten Hochöfen, welche silicium-, phosphor- oder manganreiches Roheisen erzeugen, selbst mit einer, nur in steinernen Winderhitzern erreichbaren Windtemperatur von 800° C. die Grenze des Zweckmässigen noch nicht überschritten, bei Verhüttung weniger leicht reducirbarer Erze vermuthlich noch nicht einmal erreicht ist, pflegt bei Darstellung mangan- und phosphorarmen Weisseisens in denselben Oefen eine Steigerung der Windtemperatur über 500° C. hinaus wenig Nutzen zu bringen und sogar die Entstehung des graphitfreien Weisseisens zu erschweren, da in der höheren Temperatur vor den Formen leichter Silicium reducirt wird. Beim Betriebe mit Holzkohlen in weniger grossen Oefen geht man auch bei Graueisendarstellung mit der Erhitzung des Windes selten über 400—500° C. hinaus, und bei Weiss-

eisendarstellung aus leicht reducirbaren Erzen mit Holzkohlen ist schon bei 300° C. die Grenze des Zweckmässigen bisweilen erreicht.[1])

Bei dem Betriebe eines sehr kleinen, mit Rasenerzen (also leicht reducirbaren, wasserreichen Erzen) auf graues Roheisen betriebenen Holzkohlenhochofens blieb eine Steigerung der Windtemperatur über 300° C. hinaus vollständig nutzlos; weder eine Vermehrung der Roheisenerzeugung noch eine Verringerung des Brennstoffverbrauchs war dadurch erreichbar, und nach mehrwöchentlichem Betriebe mit hocherhitztem Winde sah man aus diesem Grunde davon ab, den Wind stärker als auf die angegebene Temperatur zu erhitzen.

Auch auf die chemische Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens werden beachtenswerthe Einflüsse durch die Erhitzung des Windes ausgeübt. Wie erwähnt, steigt die Temperatur vor den Formen, und das Vereinigungsbestreben des Kohlenstoffs zum Sauerstoff wird hierdurch erhöht; in Folge davon wird die Reduction von Mangan, Silicium und anderen schwer reducirbaren Körpern befördert. Dieser Umstand bildet eine zweite Ursache, weshalb eine hoch getriebene Winderhitzung gerade für Darstellung silicium- oder manganreicher Roheisensorten von Nutzen ist, während umgekehrt die stärkere Anreicherung dieser Körper in solchem Roheisen, welches unmittelbar aus dem Hochofen, ohne umgeschmolzen zu werden, zu Gusswaaren verarbeitet werden soll, Jahrzehnte hindurch den Haupteinwand gegen die Anwendung erhitzten Windes bildete. Durch Verhüttung kieselsäureärmerer oder manganärmerer Beschickungen lässt sich jenen Einflüssen der Winderhitzung entgegenwirken; aber auch bei dem Betriebe auf gewöhnliches Weisseisen zeigt sich, wie erwähnt, leichter die Neigung des gebildeten Roheisens, durch Siliciumaufnahme grau zu werden, wenn man den Hochofen mit erhitztem Winde betreibt. Ein besonders kräftiges Reductionsmittel für Silicium bildet aber der im flüssigen Roheisen enthaltene Kohlenstoff; daher erklärt es sich, dass bei heissem Winde erblasenes Roheisen häufig kohlenstoffärmer ist als bei kaltem Winde erblasenes. Nachfolgende Beispiele zweier Roheisensorten, welche mit Holzkohlen in demselben Ofen (Ilsenburg) aus den gleichen Erzen, das eine mit heissem Winde, das andere mit kaltem Winde, erblasen wurden, lassen den Unterschied erkennen.[2])

	Bei heissem Winde erblasen	Bei kaltem Winde erblasen
Kohlenstoff	4,063	4,363
Silicium	1,168	0,635
Mangan	0,382	0,298
Phosphor	0,545	0,559
Schwefel	0,031	0,034
Kupfer	0,016	0,023
Chrom	0,034	0,030
Arsen	Spur	0,000
Antimon	0,050	0,031
Vanadium	0,011	0,022

1) Vergl. Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Band 21, Seite 357 (Tunner).

2) Vom Verfasser angestellte Untersuchung.

Eine deutliche Abweichung ist hier nur im Kohlenstoff- und Siliciumgehalte erkennbar; auch der etwas höhere Mangangehalt des mit heissem Winde erblasenen Roheisens deutet auf den Einfluss des heissen Windes hin. Die übrigen Unterschiede sind zu unerheblich, um Schlussfolgerungen zu ermöglichen.

d) Gaargang und Rohgang.

Verläuft das Schmelzen in regelrechter Weise, so geht der Hochofen gaar; treten Störungen ein, so zeigt sich Rohgang.

Die Ursachen des Rohganges können verschieden sein. Unregelmässigkeiten beim Aufgichten, grosser Feuchtigkeitsgehalt der Schmelzmaterialien bei anhaltendem Regenwetter, schlechte Beschaffenheit der Brennstoffe, unrichtige Zusammensetzung der Beschickung, wodurch vorzeitige Schmelzung hervorgerufen wird, Abkühlung des Gebläsewindes, Lecken der Formen oder sonstigen wassergekühlten Theile, Ungleichmässigkeiten in dem Niederrücken der Beschickung, welche besonders häufig bei schon längere Zeit im Betriebe befindlichen Hochöfen durch deren unregelmässige Form herbeigeführt werden, allzu starke Beschleunigung oder in anderen Fällen unnöthige Verlangsamung des Schmelzganges durch unrichtige Windführung sind häufig vorkommende Ursachen des Rohganges. Mitunter ist es schwierig, die wirkliche Ursache eines bestimmten Falls zu erforschen. Stets aber ist die Reduction beeinträchtigt; unvollständig reducirte Erze gelangen in reichlicherer Menge als zuvor in den Schmelzraum, um hier noch durch Kohle reducirt zu werden. Diese vermehrte Reduction durch Kohlenstoff erheischt einen erhöhten Wärmeverbrauch; der Gleichgewichtszustand zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeverbrauch wird gestört. Hieraus erwächst eine Abkühlung des Ofens, welche wiederum eine Zunahme des Rohganges nach sich zieht; solcherart kühlt der Ofen, wenn nicht rechtzeitig Gegenmaassregeln getroffen werden, fernerhin ab, und das Ende ist das sogenannte Einfrieren des Hochofens, dem Sterben belebter Wesen vergleichbar: der Schmelzraum ist mit erstarrten Massen verstopft, der Wind vermag nicht mehr durchzudringen, die Gluth erlischt und der ganze Ofen wird kalt.

Eine Hauptsorge jeden Hochofenmanns ist es daher, die Kennzeichen des eintretenden Rohganges rechtzeitig wahrzunehmen, um geeignete Mittel zu dessen Beseitigung ergreifen zu können.

Am deutlichsten und frühzeitigsten pflegt die Beschaffenheit der Schlacken den beginnenden Rohgang zu verrathen. Die Reduction des Eisens ist weniger vollständig als zuvor, die entstehende Schlacke ist eisenreicher. Helle Schlacken werden dunkler, grün, zuletzt schwarz. Durch das Kohlenoxydgas, welches bei der noch im Schmelzraume fortgesetzten Reduction von Eisen aus den Schlacken sich entwickelt, werden sie aufgebläht und nach dem Erstarren zeigen sie sich von Gasblasen durchsetzt, welche Erscheinung sich besonders deutlich bei den zähen Schlacken der mit Holzkohlen auf graues Roheisen betriebenen Hochöfen wahrnehmen lässt. Nachstehende Beispiele einer Gaarschlacke und einer Rohschlacke des Holzkohlenhochofens zu Zorge am Harz lassen den Unterschied in der Zusammensetzung erkennen.[1])

1) Vom Verfasser angestellte Untersuchung.

	Gaarschlacke, graublau	Rohschlacke, schwarzgrün
Kieselsäure	49,30	48,62
Thonerde	12,17	10,75
Kalkerde	31,23	26,02
Magnesia	2,28	1,15
Eisenoxydul	0,79	8,59
Manganoxydul	0,95	1,47
{Schwefel	0,19	0,06
{Calcium	0,24	0,08
Kaliumoxyd	2,61	n. best.

Beachtenswerth ist ausser dem höheren Eisenoxydul- und Manganoxydulgehalte der Rohschlacke ihr geringerer Schwefelgehalt; in der niedrigeren Temperatur des Rohganges nahm die Schlacke weniger Schwefel auf. Die Analysen des mit diesen beiden Schlacken erfolgten Roheisens sind auf Seite 378 mitgetheilt; das bei Rohgang erfolgte ist schwefelreicher. Die gleiche Erscheinung ist fast immer bemerkbar. Die Schlackenmenge wird bei Rohgang reichlicher, da eine grössere Menge von Bestandtheilen der Beschickung (Eisen, Mangan, Silicium) unreducirt verschlackt wird; die Schlacke selbst wird durch den grösseren Eisen- und Manganoxydulgehalt häufig dünnflüssiger, erstarrt aber gewöhnlich rasch. Nimmt jedoch die Abkühlung des Ofens zu, so bleibt auch die erfolgende Schlacke kälter und verliert dann ihre Dünnflüssigkeit. Ist man mit der äusseren Beschaffenheit (Farbe, Dünnflüssigkeit) der gaaren Schlacke eines Hochofens bei dem Betriebe auf diese oder jene Roheisensorte vertraut, so geben die bei Rohgang eintretenden Veränderungen dieser Beschaffenheit ein zuverlässiges Merkmal für den Beginn des Rohganges.

Etwas später pflegt die veränderte Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens den eingetretenen Rohgang zu verrathen. Fremdkörper werden weniger vollständig reducirt, das Eisen wird ärmer an Silicium und Mangan. Auch der Kohlenstoffgehalt sinkt; denn die Berührung mit der im Schmelzraume anwesenden eisenreicheren Schlacke macht die Aufnahme eines reichen Kohlenstoffgehaltes unmöglich, welcher durch den Eisenoxydulgehalt der Schlacke verbrannt werden würde.[1]) Ging der Ofen auf Graueisen, so erfolgt graphitärmeres Roheisen, sobald Rohgang eintritt, schliesslich grelles; wurde er auf Spiegeleisen betrieben, so erhält man bei schwachem Rohgange Weissstrahl, bei stärkerem Rohgange Treibeisen. Schon an dem abweichendem Verhalten des fliessenden Roheisens vermag das geübte Auge die geänderte Beschaffenheit zu erkennen. Das bei Rohgang erfolgende Roheisen ist, da es bei niedrigerer Temperatur im Schmelzraume erfolgte, weniger stark überhitzt als das bei Gaargang erfolgende; es ist ohnehin dickflüssiger wegen seines geringen Gehaltes an Kohlenstoff, Silicium und Mangan. Daher fliesst es träge, wirft reichlich Funken und erstarrt rasch, dabei mitunter tiefe Löcher an der Oberfläche bildend.

1) Auf Seite 188 ist diese Wechselbeziehung zwischen der Zusammensetzung der Schlacke und der des Eisens ausführlicher besprochen worden.

Sieht man durch die Formen in den Ofen, so gewahrt man bei Gaargang, sobald sich das Auge an das blendende Licht gewöhnt hat, die verbrennenden Kohlen und die gleichmässig niedertropfenden flüssigen Massen. Die Weissgluth deutet auf hohe Temperatur, Ansätze an den Formen sind wenig bemerkbar und lassen sich ohne Schwierigkeit entfernen. Bei Rohgang verlieren die Formen an Helligkeit, die schmelzende Schlacke zeigt sich in unruhiger Bewegung, erzeugt durch die unter Kohlenoxydentwickelung noch stattfindende Reduction von Eisen. Kommt das unmittelbar über den Formen reducirte, also noch kohlenstoffarme, schwerschmelzige Eisen in Berührung mit den kälteren Ofenwandungen, insbesondere mit dem Rüssel der Formen oder sonstigen gekühlten Theilen, so setzt es sich hier als sogenanntes Frischeisen fest — es ist thatsächlich schmiedbares Eisen —, Ansätze bildend, welche, wenn sie nicht beseitigt werden, immer mehr wachsen und Veranlassung zu einer vollständigen Verstopfung des Ofens geben können. Die Beseitigung dieses zähen, fest an den Wänden haftenden Frischeisens aber ist schwieriger als die Beseitigung von entstandenen Schlackenansätzen.

Bei Oefen, welche mit Koks und hocherhitztem Winde betrieben werden, tritt diese Erscheinung weniger bemerkbar hervor als bei Holzkohlenbetrieb und weniger heissem Winde, besonders, wenn man mit Holzkohlen graues Roheisen darstellt. Die wenigen Eisenhüttenleute, welche noch den Betrieb mit kaltem Winde gekannt haben, erinnern sich noch sehr wohl der beschwerlichen Arbeit, welche das Losbrechen dieser Frischeisenansätze veranlasste. Schwere eiserne Stangen — Rengel — wurden unter dem Tümpel hinweg in den Ofen geführt, und durch Stossen und Drücken damit wurde das angesetzte Eisen entfernt. Seit Einführung der Winderhitzung ist auch bei Holzkohlenhochöfen die Arbeit des „Rengelns" seltener und weniger beschwerlich geworden; aber die Einrichtung der Oefen mit offener Brust verdankt, wie früher erwähnt wurde, dem Umstande ihre Entstehung, dass bei geschlossener Brust die Entfernung der Frischeisenansätze kaum möglich ist.

Auch das Aeussere der Gichtflamme lässt in den seltenen Fällen, wo der Ofen mit ganz oder theilweise offener Gicht arbeitet, meistens deutlich den Eintritt von Rohgang erkennen. Sie verliert an Lebhaftigkeit, die beim Gaargange blaue Farbe wird gelblicher, der weisse Beschlag, welcher sich an den kälteren Theilen der Gicht absetzt (der Gichtstaub), wird schwächer oder ändert auch wohl seine Farbe in's Gelbliche. Auch bei den Oefen mit geschlossener Gicht lässt das Aussehen des weissen Rauches, welcher aus den Essen der durch Gichtgase geheizten Winderhitzer und Dampfkesselöfen entweicht und aus fortgerissenem Gichtstaube besteht, gewöhnlich mit ziemlicher Deutlichkeit Veränderungen im Gange des Hochofens wahrnehmen. Bei Gaargang pflegt er weisser und reichlicher, bei Rohgang gelblicher und weniger reichlich zu sein; doch besitzt jeder Ofen in dieser Hinsicht seine besonderen Eigenthümlichkeiten, mit denen man nur durch längere Beobachtungen vertraut werden kann.

War der Rohgang durch allzu reichliches Verhältniss der Erze zu den Brennstoffen entstanden, so nennt man ihn übersetzten Gang. Den Gegensatz dazu bildet der heissgaare Gang, bei welchem die

Temperatur und die Reductionswirkung des Ofens durch ein Uebermaass des benutzten Brennstoffs mehr als wünschenswerth gesteigert sind. Ein graphitreiches, zur Gaarschaumbildung neigendes Roheisen pflegt hierbei zu erfolgen, wenn man gewöhnliches Graueisen darstellen wollte; wurde der Ofen auf weisses Roheisen oder Spiegeleisen betrieben, so entsteht graphithaltiges oder völlig graues Roheisen.

Wie der Arzt eine Krankheit am sichersten zu heilen vermag, wenn er die Diagnose richtig gestellt hat, ist es auch zur Beseitigung der Krankheiten des Hochofens, des Rohganges, nothwendig, zunächst ihrer Ursache nachzuforschen. War eine Form leck geworden, so muss sie rasch beseitigt werden, trug ein zu hohes Verhältniss des Erzsatzes zum Brennstoffsatze die Schuld, so verringert man den Erzsatz. Nicht immer jedoch ist es möglich, sofort mit Sicherheit die wahre Ursache des Rohganges zu erkennen, und in jedem Falle hat man darnach zu trachten, einem ferneren Sinken der Temperatur im Ofen vorzubeugen und sie wieder auf das für den Gaargang erforderliche Maass zu steigern. Die Erniedrigung des Erzsatzes ist auch hierzu förderlich, und sie ist deshalb fast immer das erste Mittel, welches man zur Abstellung des Rohganges anwendet. Je länger aber die Durchsetzzeit des Ofens ist, desto länger währt es, bis der Erfolg dieses Mittels eintreten kann. Rascher lässt sich bisweilen durch eine Erhöhung der Windtemperatur der Rohgang beseitigen oder abmindern. Durch Verminderung der Windmenge wird ein allzu beschleunigter Schmelzgang verzögert, die Erze erhalten längere Zeit zur Vorbereitung, die Reduction durch Kohle wird auf ein kleineres Maass zurückgeführt, und dieses Mittel ist besonders bei kleineren Oefen vielfach bewährt, zumal, wenn gleichzeitig der Erzsatz verringert wird; in anderen, allerdings selteneren, Fällen kann eine Verstärkung der Windpressung von Nutzen sein.

Je kleiner der Ofen ist, desto empfindlicher pflegt er gegen alle Einflüsse zu sein, welche Rohgang hervorrufen, desto sorgfältiger muss die Begichtung, die Regelung der Windtemperatur und Windspannung u. s. w. beaufsichtigt werden.

Ein bei manchen Hochöfen ziemlich häufig wiederkehrender Vorgang, dessen Folgen recht unangenehm sein können, ist das Hängen der Gichten, ein Stillstehen der bei regelmässigem Gange gleichmässig niederrückenden Beschickung während längerer Zeit, oft mehrerer Stunden, worauf dann ein plötzliches Niederstürzen folgt. Mitunter beträgt die Höhe des Absturzes in grossen Oefen fünf Meter und darüber. Die äusseren Erscheinungen, welche diesen Vorgang begleiten, sind nicht immer gleich. Bei manchen Oefen tritt das Hängen der Gichten nur bei Rohgang ein, und bei den meisten Oefen zeigt sich wenigstens nach dem Gichtensturze Rohgang als Folge des Umstandes, dass die plötzlich niederrückenden Erze ungenügend vorbereitet in den Schmelzraum gelangten und die grössere Menge der jetzt zur Auffüllung des Ofens erforderlichen Schmelzmaterialien ihn stärker als sonst abkühlte; bei einzelnen Oefen ist der Vorgang dagegen besonders häufig bei Gaargang bemerkbar und veranlasst auch, wenn er beendet ist, keine fernere Störung des Gaarganges.[1]) Mit-

1) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 114.

unter, und zwar stets bei denselben Hochöfen, ist das Niederstürzen der Gichten von einer Explosion begleitet. Erz- und Brennstoffstücke werden aus der Gicht herausgeschleudert, und zwar mit solcher Gewalt, dass der Gichtgasfang zertrümmert werden kann. Selbst die Dächer der umliegenden Gebäude, z. B. der Giesshalle, sind bisweilen durch die mit Heftigkeit ausgeworfenen und niederstürzenden Körper stark beschädigt worden.

In allen diesen Fällen hatte sich aus den niederrückenden Massen innerhalb der Rast — selten darüber oder im Gestell — eine Zusammenhäufung gebildet, welche gewölbartig die darauf lastende Schmelzsäule trug, während die darunter befindlichen Kohlen allmählich wegbrannten und die Erze schmolzen. So entstand ein an Umfang mehr und mehr zunehmender hohler Raum über den Formen, bis jenes Gewölbe plötzlich zusammenbrach und nunmehr der plötzliche Niedergang der Beschickung eintrat.

Verschiedene Umstände können zur Bildung des Gewölbes Veranlassung geben.

Ist die gewählte Form des Ofeninnern nicht günstig für einen gleichmässigen Niedergang der Schmelzmaterialien, so können auf der Rast Stauungen entstehen, welche den Vorgang veranlassen. Der Fall tritt vornehmlich dann ein, wenn der Uebergang zwischen dem Kohlensack und dem Gestell zu rasch stattfindet, d. h. der Rastwinkel zu wenig steil, oder wenn das Gestell zu eng ist. Die Rast dient alsdann als Widerlager für das Gewölbe.

Zwischen je zwei benachbarten Windformen befindet sich an der Wand des Ofens ein Raum, welcher von dem Verbrennungsvorgange um so weniger berührt wird, je grösser die Geschwindigkeit (Spannung) des eintretenden Windes ist, je weiter die benachbarten Formen von einander entfernt und je weiter sie im Ofen vorgeschoben sind. Auch starke Erhitzung des Windes befördert die Entstehung eines solchen Raumes, denn je höher die Temperatur ist, desto rascher verschwindet unmittelbar vor den Formen der freie Sauerstoff sowie die zunächst etwa gebildete Kohlensäure,[1]) desto kleiner wird der Verbrennungsraum, desto weniger finden oxydirende Gase Gelegenheit, sich auszubreiten und nach dem Ofenumfange zurückzutreten. Hier können also unverbrannte Kohlen sich sammeln, durch ihre Anhäufung Pfeiler bildend, welche den Querschnitt verengen und als Widerlager für die sich bildenden Gewölbe dienen.

Auch die Einrichtung des Gasfangs kann die Entstehung des Gewölbes befördern. Werden die Gase einseitig abgezogen (Pfortscher Gasfang Seite 431, Parrys Gasfang Seite 433), so entsteht die Gefahr, dass die gegenüberliegende Seite des Ofens weniger stark erhitzt und auch von der Verbrennung weniger stark berührt werde. Hier ist demnach die Veranlassung zu der Bildung eines Ansatzes aus erstarrten Massen oder auch aus unverbrannter Kohle gegeben. Ist ein solcher Ansatz einmal vorhanden, so wächst er zusehends durch die bewirkte Stauung der niederrückenden Körper; die Gichten hängen einseitig, d. h. nehmen eine schiefe Lage an, wenn der Ansatz, wie in dem be-

1) van Vlotens Untersuchungen hierüber: „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 26.

schriebenen Falle, nur an der einen Seite des Ofens sich gebildet hat. Mehr und mehr aber verengt sich der Querschnitt, und schliesslich kann die Bewegung der ganzen Schmelzsäule in's Stocken gerathen.

Mitunter wirken auch mehrere Ursachen zusammen, die Erscheinung hervorzurufen. Befördert die Form des Ofeninnern, die Lage der Windformen, die Einrichtung des Gasfangs oder irgend ein anderer Umstand die Bildung von Ansätzen an den Wänden des Gestells, der Rast oder des untern Schachts, so muss um so leichter auf diesen Ansätzen sich ein Gewölbe bilden, je dichter die Bestandtheile in der Mitte zusammengehäuft sind. Allzu feinstückige Beschaffenheit der Erze, oder die manchen Erzen eigenthümliche Beschaffenheit, beim Niederrücken zu Pulver zu zerfallen,[1]) vorzeitige Sinterung der Erze, sei es in Folge einer unrichtig gewählten Zusammensetzung der Beschickung oder der Entstehung von Oberfeuer, können in solchen Fällen die Bildung des Gewölbes veranlassen.

Den verschiedenen Ursachen entsprechend müssen auch die Mittel zur Beseitigung des Uebels verschieden sein. Ist das Gewölbe noch nicht sehr stark, so lässt sich bisweilen durch augenblickliche Abstellung des Gebläsewindes der Niedergang herbeiführen; der durch den Wind ausgeübte Druck von unten hört auf, und das Gewölbe bricht zusammen. In anderen Fällen hat ein Zurückziehen weit vorgeschobener Formen guten Erfolg. Die Verbrennung wird in grössere Nähe der Ofenwand verlegt; die hier angesammelten Kohlen werden verbrannt, Ansätze aus halbgeschmolzenen Massen werden geschmolzen, die Widerlager des Gewölbes werden dadurch zerstört, dieses bricht zusammen, und vorläufig, bis etwa neue Widerlager entstanden sind, ist die Gelegenheit zur Gewölbebildung beseitigt.

War bei Anwendung sehr heissen Windes mit hoher Spannung die Verbrennung allzu sehr auf die Mitte des Ofens beschränkt, so dass am Umfange sich unverbrannte Kohlen angehäuft hatten, so kann auch zeitweiliges Blasen mit kaltem Winde das Hängen der Gichten beseitigen. Die Verbrennung wird verlangsamt, der Verbrennungsraum ausgedehnt, freier Sauerstoff und Kohlensäure breiten sich weiter aus und treten bis zur Ofenwand zurück. Die hier angestauten Kohlen verbrennen, und das Gewölbe geht nieder.

Wird ein Hochofen, welcher auf eine bestimmte Roheisensorte betrieben worden war, auf eine andere Roheisensorte umgesetzt, wobei also die Zusammensetzung der Beschickung und das Verhältniss des Erzsatzes zum Brennstoff geändert werden, so verschwindet in der Regel die Erscheinung des Hängens auf längere Zeit. Die Verbrennung und Schmelzung vollzieht sich in anderer Weise als zuvor; die vorhandenen Ansätze werden geschmolzen oder verbrannt, und die Gelegenheit zur Gewölbebildung ist beseitigt, bis etwa neue Ansätze an anderen Stellen entstanden sind.

1) Es sei hierbei an den auf Seite 288 beschriebenen Vorgang erinnert: das Zerfallen der Erze und die Ablagerung von pulverförmigem Kohlenstoff auf den Erzen, wenn diese in bestimmter Temperatur längere Zeit der Einwirkung eines kohlenoxydreichen Gasstroms ausgesetzt sind.

3. Der Betrieb mit verschiedenen Brennstoffen.

Ueber die Unterschiede in der Abmessung der Hochöfen, in der Zusammensetzung der Beschickung, in dem Verlaufe des Schmelzens, je nachdem Koks oder Holzkohlen als Brennstoffe dienen, sind bereits früher mehrfach Mittheilungen gemacht worden. Es sei deshalb das früher an verschiedenen Stellen Gesagte hier nur kurz zusammengefasst. Den Kokshochöfen giebt man grössere Abmessungen als den Holzkohlenhochöfen, weil die schwerer verbrennlichen Koks in beschränkterem Maasse als Holzkohlen Gelegenheit zur Reduction der aufsteigenden Kohlensäure geben und auch wegen ihrer grösseren Festigkeit dem Drucke einer hohen Schmelzsäule besser widerstehen als Holzkohlen, ohne zerdrückt oder zerrieben zu werden. Damit aber jene Schwerverbrennlichkeit der Koks nicht Veranlassung zur Entstehung von Oberfeuer gebe, ist bei den Kokshochöfen stärkere Windpressung erforderlich und stärkere Winderhitzung zweckmässig. Auch die grössere Höhe der Kokshochöfen an und für sich bedingt eine stärkere Windspannung, damit der Gasstrom befähigt werde, die Schmelzsäule zu durchdringen.

Der höhere Aschengehalt der Koks und die chemische Beschaffenheit der Koksasche an und für sich machen die Anwendung reichlicherer Zuschläge beim Koksbetriebe zur Verschlackung der Asche erforderlich; der niemals fehlende Schwefelgehalt der Koks aber erheischt die Bildung stark basischer Schlacken, deren Schmelztemperatur wegen ihres hohen Basengehalts mitunter so hoch liegt, dass sie in der niedrigeren Temperatur der Holzkohlenhochöfen kaum zum Schmelzen zu bringen sein würden.[1])

Rohe Brennstoffe haben in allen Fällen den Nachtheil, dass durch die bei ihrer Zersetzung eintretende Gasentwickelung Wärme gebunden und die Gasspannung im Ofen erhöht wird; ferner, dass die Formveränderung, welche sie selbst bei der Zersetzung erleiden, den gleichmässigen Niedergang der Schmelzsäule schädigen kann. Backende Steinkohlen sind aus letzterem Grunde für die unmittelbare Verwendung beim Hochofenbetriebe (ohne vorausgegangene Verkokung) völlig ausgeschlossen. Nichtbackende langflammige Kohlen finden in einzelnen Fällen Verwendung (Schottland), aber der Betrieb damit ist schwieriger als mit Koks. Mit den Gasen der damit betriebenen Hochöfen entweicht alsdann der reiche, bei der Zersetzung der Steinkohlen entstehende Theer- und Ammoniakgehalt. Seitdem man die Vortheile der Gewinnung dieser Nebenerzeugnisse bei der Verkokung erkannte, hat man auch bei den schottischen Hochöfen entsprechende Einrichtungen eingeführt, um den Gichtgasen die genannten Körper zu entziehen. Der erlangte Nutzen soll erheblich sein (vergl. Litteratur).

1) Die bei Benutzung von Koks erreichbare höhere Temperatur ist, abgesehen von der üblichen Anwendung heisseren Windes, eine Folge ihres grössern specifischen Gewichts. Sie nehmen einen kleinern Raum ein; die Verbrennungserzeugnisse treten deshalb im ersten Augenblicke mit einer geringern Menge wärmeaufnehmender Körper in Berührung, die Temperatur im Verbrennungsraume fällt höher aus. Auch die grössere Höhe der Kokshochöfen trägt zur Steigerung der Temperatur im Verbrennungsraume bei, da die Körper stärker vorgewärmt in diesen einrücken.

Auch Anthracite dienen in einzelnen Fällen als Brennstoffe für den Hochofenbetrieb (Pennsylvanien, Wales). In der Zusammensetzung steht der Anthracit den Koks nahe, und die Gasentwickelung bei seiner Zersetzung ist nicht erheblich; aber er ist dicht, schwer verbrennlich und besitzt die Neigung, beim Erhitzen in zahlreiche kleine Stücke zu zerspringen. Diese Eigenschaften erschweren seine Verwendung. In Rücksicht auf seine Schwerverbrennlichkeit wählt man Stücke von geringerer Grösse, wodurch die dem Winde dargebotene Oberfläche vergrössert wird; am geeignetsten sollen sich Stücke von ungefähr 100 mm im Durchmesser erweisen. Ein anderes Mittel zur Beförderung der Verbrennung ist starke Windpressung; auch in Rücksicht auf das erwähnte häufig eintretende Zerspringen der Stücke in noch kleinere Brocken ist eine hohe Windpressung nothwendig, um den Gasen das Durchdringen der nicht liegenden Beschickung zu ermöglichen. Man giebt deshalb den Anthracithochöfen Gebläse, welche im Stande sind, nöthigenfalls eine Pressung von 1,5 kg auf 1 qcm zu entwickeln, obschon während des gewöhnlichen Betriebes selten eine höhere Windspannung als 0,6 bis 1 kg auf 1 qcm erforderlich ist. Auch hoch getriebene Winderhitzung befördert die Verbrennung der Anthracite. Jenes Zerfallen aber kann zur Entstehung der auf Seite 516 erwähnten, oft nur sehr schwierig zu beseitigenden Versetzungen Veranlassung geben, gebildet durch ein Gemenge von Anthracitpulver mit gesinterten Massen.

Rohes Holz, Torf, Braunkohlen eignen sich noch weniger als Steinkohlen für den Hochofenbetrieb, da die bei ihrer Zersetzung entweichende Gasmenge noch erheblicher ist. Wohl aber findet man es bisweilen nützlich, kleinere Mengen dieser Brennstoffe den verkohlten zuzusetzen. An und für sich kann eine Ersparung damit verknüpft sein; neigt aber der Ofen zur Bildung von Oberfeuer, so vermag die bei der Zerlegung der Brennstoffe eintretende Wärmebindung jenem Uebel entgegen zu wirken. Auch der Umstand, dass die flüchtigen, grossentheils aus Kohlenwasserstoffen bestehenden Zersetzungserzeugnisse die Menge der reducirenden Körper im Gasstrome anreichern und, indem sie die gebildete Kohlensäure verdünnen, die Vergasung festen Kohlenstoffs durch Kohlensäure erschweren, kann förderlich für den Verlauf des Hochofenschmelzens sein. Bei oberschlesischen Kokshochöfen hat man bisweilen ein Drittel der Brennstoffgicht aus rohen, nichtbackenden Steinkohlen bestehen lassen, aber solche aschenarme Stückkohlen sind häufig kostspielig, und aus diesem Grunde fand man es vortheilhafter, zu der alleinigen Benutzung von Koks zurückzukehren.[1]) Selbst bei Holzkohlenöfen fand man bisweilen einen mässigen Steinkohlenzusatz zweckmässig.[2])

Versuche über die Verwendbarkeit von Braunkohlen beim Hochofenbetriebe, welche bei verschiedenen Hochöfen der öster-

1) Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preussen, Band 22, Seite 284.

2) Bei dem inzwischen zum Erliegen gekommenen Hochofenbetriebe zu Gröditz in Sachsen verwendete man viele Jahre hindurch zu diesem Zwecke Russkohle (Seite 67) aus dem Zwickauer Steinkohlenbecken.

reichischen Alpenländer und Ungarns angestellt wurden, ergaben, dass ein mässiger Zusatz zu verkohlten Brennstoffen (Koks oder Holzkohlen) zweckmässig sein könne, sofern der Preis der Braunkohlen entsprechend niedrig ist.

Gedarrtes Holz ist früher mehrfach, z. B. bei Harzer Holzkohlenhochöfen, den Holzkohlen mit gutem Erfolge in ziemlich reichlicher Menge (bis zur Hälfte der Brennstoffgicht) zugesetzt worden. Wo aber das Holz im Walde, fern von der Hütte, verkohlt wird, die Fracht nach dem Hochofen also einen nicht unbeträchtlichen Theil der Selbstkosten des Holzes und der Holzkohlen ausmacht, kommt der Umstand in Betracht, dass aus 100 kg Holz nur etwa 22 kg Holzkohlen erfolgen, man also mehr als die vierfachen Frachtkosten zu tragen hat, wenn man das rohe Holz statt der Kohlen nach der Hütte abfahren lässt. Dieser Preisunterschied erklärt es zum Theile, dass die Anwendung rohen Holzes beim Hochofenbetriebe im Allgemeinen ziemlich selten geblieben ist.

Die Erfolge, welche die Gasfeuerung auf anderen Gebieten erlangte, haben bisweilen auch zu Vorschlägen und vereinzelt zu Versuchen verleitet, das Hochofenschmelzen mit Gasfeuerung zu bewirken. Ein Erfolg ist hierbei nicht erreichbar, wie sich aus der früher gegebenen Schilderung der Eigenthümlichkeiten des Hochofenschmelzens mit Sicherheit folgern lässt. Der feste Kohlenstoff hat, wie auch hier betont werden möge, im Hochofen einen doppelten Zweck zu erfüllen: er soll durch Verbrennung zu Kohlenoxyd das Reductionsmaterial für die Erze liefern, bei dieser Verbrennung aber zugleich die zur Durchführung des ganzen Verfahrens nothwendige Wärme entwickeln. Wollte man diese Wärme durch Verbrennung von Gasen gewinnen, so würden die Verbrennungserzeugnisse aus Kohlensäure und Wasserdampf bestehen, also aus Gasen, welche in der Schmelztemperatur des Roheisens oxydirende statt reducirende Wirkungen ausüben würden. Eine sehr starke Verdünnung der Verbrennungsgase durch unverbrannte Gase, d. h. die Zuleitung eines grossen Gasüberschusses, würde nothwendig sein, um jene oxydirende Wirkung aufzuheben. Mit der Menge der unverbrannt bleibenden Gase, welche ebenfalls auf die Temperatur des Schmelzraumes erhitzt werden und später die Reduction bewirken müssen, wächst aber die Schwierigkeit, jene Temperatur hervorzubringen. Auch durch starke Vorwärmung der Gase und des Gebläsewindes würde es nicht möglich sein, dieses Hinderniss zu beseitigen, da stets Kohlensäure und Wasserdampf gebildet werden, sobald Gase verbrennen.

Kaum minder aussichtslos ist der Gedanke, dem mit festen Brennstoffen betriebenen Hochofen von aussen her noch reducirende Gase zuzuführen, um die Reduction der Erze durch Kohlenoxyd zu erleichtern und insbesondere die Oxydationswirkung der bei der Reduction der Erze durch Kohlenoxyd entstehenden Kohlensäure abzuschwächen. Voraussichtlich wird die Erzeugung und Zuleitung solcher reducirenden Gase ohne einen Gehalt an Kohlensäure und Wasserdampf grössere Kosten verursachen, als dass ein Nutzen dadurch erreicht werden könnte.

4. Der Betrieb auf verschiedene Roheisengattungen und die Berechnung der Beschickung.

a) Allgemeines.

Die Beschaffenheit des im Hochofen erfolgenden Roheisens ist von verschiedenen Umständen abhängig.

Zunächst von der chemischen Zusammensetzung der verhütteten Erzsorten. Aus einem manganarmen Erze kann kein manganreiches Roheisen entstehen; aus einem phosphorreichen Erze kein phosphorarmes Roheisen.

Alsdann von der Temperatur im Schmelzraume des Ofens. Die Reduction von Mangan und Silicium in grösseren Mengen erfordert hohe Temperaturen; daher lassen sich silicium- oder manganreiche Roheisensorten nicht in kalt gehenden Hochöfen darstellen. Die Temperatur im Ofen ist abhängig von der Temperatur des Gebläsewindes, der Beschaffenheit des Brennstoffs, dem Verhältniss der Menge des Brennstoffs zum Erzsatze und dem Wärmeverbrauche des Ofens; letzterer aber ist beträchtlicher, wenn grössere Mengen Mangan und Silicium reducirt und schwer reducirbare Erze geschmolzen werden, als im umgekehrten Falle.[1]) Alle diese Umstände zusammen machen einen um so grösseren Brennstoffverbrauch und Anwendung stärker erhitzten Windes erforderlich, je silicium- oder manganreicher das Roheisen werden soll und je schwerer reducirbar die Erze sind.

Ferner von der Windmenge, welche der Ofen in bestimmter Zeit erhält; oder richtiger von dem Verhältnisse dieser Windmenge zu dem Rauminhalte des Hochofens. Je mehr Wind dem Ofen zugeführt wird, desto rascher verläuft das Schmelzen, desto grösser ist die Menge des dargestellten Roheisens, aber desto leichter tritt vorzeitige Verschlackung unreducirten Eisens ein, und desto mehr wird die Reduction von Silicium oder Mangan eingeschränkt. Ein Hochofen, welcher auf gewöhnliches Weisseisen betrieben wird, verträgt daher und erfordert sogar eine stärkere Beschleunigung des Schmelzganges als ein solcher, welcher graues oder manganreiches Roheisen darstellen soll.

Endlich auch von der chemischen Zusammensetzung der gesammten Beschickung, welche die Zusammensetzung der erfolgenden Schlacke bedingt. Roheisen, welches bei verhältnissmässig geringem Brennstoffaufwande in niedriger Temperatur erfolgt (gewöhnliches Weisseisen), würde sich nicht erzeugen lassen, wenn die miterfolgende Schlacke zu strengflüssig wäre, um in jener niedrigen Temperatur zu schmelzen; andrerseits ist für die Bildung von Roheisen, welches reichlichere Mengen schwerreducirbarer Körper (Silicium, Mangan) aufnehmen soll und einer hohen Temperatur für seine Entstehung bedarf (Siliciumeisen, grauem Roheisen, Spiegeleisen, Eisenmangan), eine solche Zusammensetzung der Schlacke förderlich, dass sie nicht allzu zeitig schmilzt und dabei einen grösseren Eisenoxydulgehalt aufnimmt, welcher die Re-

1) Von schwer reducirbaren Erzen geht ein grösserer Theil als von leicht reducirbaren unreducirt in die Schlacke ein, um aus dieser erst durch Kohle reducirt zu werden. Auch Mangan und Silicium werden nur durch Kohle reducirt. Daher der grössere Wärmeverbrauch in diesen Fällen.

duction jener Körper verhindern würde. Auch noch in andrer Weise ist die Zusammensetzung der Schlacken von Einfluss auf die Zusammensetzung des Roheisens. Mangan wird um so leichter reducirt, je basischer die Schlacke ist, Silicium leichter bei weniger stark basischer Schlacke (Seite 312 und 325); enthält aber die Beschickung Schwefel, so geht dieser nur in die Schlacke, wenn diese kalkreich genug ist, und ein Betrieb mit mineralischen Brennstoffen, zumal mit Koks, welche stets Schwefel enthalten, liefert deshalb nur dann ein brauchbares Roheisen, wenn die Schlacke nicht zu kieselsäurereich ist. Ihr Kieselsäuregehalt darf nicht erheblich über den eines Singulosilikats hinausgehen.

Durch entsprechende Vermischung (Gattirung) mehrerer Erzsorten oder durch Zusatz geeigneter Zuschläge ist man im Stande, verschiedene Roheisensorten aus den gleichen Erzen darzustellen, wenn auch die ursprüngliche Beschaffenheit der Erze sie oft mehr geeignet für den einen als für den andern Zweck erscheinen lässt. Rasenerze, mit Quarzkörnern durchmengt, oder quarzige Rotheisenerze befördern stets die Graueisenbildung; manganreiche Spathe dagegen werden, auch wenn sie auf graues Roheisen verarbeitet werden, immerhin diesem die Neigung ertheilen, bei rascher Abkühlung weiss zu werden, leichter aber auf weisses Roheisen oder Spiegeleisen sich verarbeiten lassen. Ein grösserer Thonerdegehalt der Erze macht sie gewöhnlich geeigneter für Graueisen- als für Weisseisendarstellung, da er die Bildungs- und Schmelztemperatur der Schlacke erhöht; umgekehrt wird die Graueisendarstellung schwieriger, wenn nur thonerdefreie Erze zur Verhüttung vorliegen.

Selbstverständlich ist es, dass man für Darstellung bestimmter Roheisensorten nicht Erze benutzen wird, durch welche Bestandtheile, nachtheilig für die Verwendung jener Roheisensorten, ihnen zugeführt werden. Die Verwendung des Spiegeleisens erheischt möglichste Reinheit von Phosphor; das Gleiche ist bei dem für das saure Bessemerverfahren bestimmten grauen Roheisen der Fall. Es würde widersinnig sein, hier phosphorreiche Erze verhütten zu wollen. Weniger von Belang ist ein Phosphorgehalt in dem Giessereiroheisen und dem gewöhnlichen Weisseisen; das basische Windfrischen (Thomasverfahren) verlangt sogar ein Roheisen mit grösserem Phosphorgehalte. Hier also sind phosphorhaltige Erze verwendbar. Ein höherer Mangangehalt aber ist für Giessereiroheisen von Nachtheil, da er ihm die Eigenschaft verleiht, leicht hart, weiss zu werden; für die Verwendung des Weisseisens ist er eher förderlich als nachtheilig. Phosphorhaltige manganreiche Erze eignen sich demnach mehr für Weisseisendarstellung, während manganarme für beide Zwecke brauchbar sind, im Allgemeinen aber, besonders bei grösserem Thonerdegehalte, besser für Graueisen- als für Weisseisendarstellung sich verwenden lassen, wenn man ihnen nicht manganreichere Erze zuschlagen kann. Von solchen Erwägungen muss zunächst die Benutzung der zur Verfügung stehenden Erze abhängig sein.

b) Die Entstehungsbedingungen der wichtigsten Roheisengattungen.

Siliciumeisen. Die Temperatur im Schmelzraume des Hochofens muss hoch sein, der Wärmeverbrauch zur Reduction des Siliciums aber ist beträchtlich (Seite 54), und Silicium kann nur durch Kohle (nicht durch Kohlenoxyd) reducirt werden. Diese Umstände machen ein

reichliches Verhältniss des Brennstoffs zum Erze erforderlich, welches mit dem Siliciumgehalte der darzustellenden Legirung zunehmen muss. Die Anwendung hocherhitzten Windes ist unumgänglich; bei Anwendung von Koks als Brennstoff ist erfahrungsmässig leichter als bei Anwendung von Holzkohlen eine hohe Temperatur im Schmelzraume erreichbar.[1]) Damit Silicium in grösserer Menge reducirt werden kann, darf die im Schmelzraume anlangende Schlacke nicht mehr reich an Eisen sein; daher sind leicht reducirbare Erze (Roth- und Brauneisenerze) geeigneter als schwerreducirbare (Magneteisenerze, Frischschlacken). Da die Verwendbarkeit des Siliciumeisens Einbusse erleiden würde, wenn es einen grösseren Phosphorgehalt besässe, dürfen nur phosphorarme Erze Verwendung finden. Die Bildungstemperatur der Schlacke soll nicht zu niedrig liegen, damit nicht vorzeitige Verschlackung von Eisenoxydul eintrete. Ein hoher Kieselsäuregehalt der Schlacke würde zwar der Reduction des Siliciums günstig sein, ist aber in Rücksicht auf den Schwefelgehalt der Koks nicht zulässig; ein hoher Basengehalt würde die Reduction reichlicher Mengen Silicium erschweren. Man pflegt daher thonerdereiche Schlacken zu bilden, welche der Reduction des Siliciums weniger hinderlich sind, als kalkreiche mit dem nämlichen Kieselsäuregehalte, und dabei strengflüssig genug, um nicht vorzeitig zu schmelzen. Als Beispiele der Zusammensetzung mögen die nachfolgenden dienen. Die Schlacken erfolgten bei Darstellung von Siliciumeisen mit etwa 14 v. H. Silicium.[2])

	I	II
Kieselsäure	33,10 v. H.	27,70 v. H.
Thonerde	24,56 „	26,70 „
Kalkerde	25,92 „	34,69 „
Magnesia	6,97 „	3,45 „
Eisenoxydul	0,31 „	Spur „
Manganoxydul . . .	0,37 „	Spur „
{Schwefel	3,45 „	2,45 „
{Calcium	4,31 „	3,08 „
Alkalien und Verlust .	1,01 „	1,93 „
	100,00	100,00

Graues Roheisen. Die Entstehungsbedingungen sind denen für die Bildung des Siliciumeisens ähnlich; aber der Brennstoffverbrauch ist weniger hoch, entsprechend dem niedrigeren Siliciumgehalte des darzustellenden Roheisens, die Schlacke gewöhnlich minder strengflüssig. Schmelzt man kieselsäurereiche Erze mit Holzkohlen, so pflegt man eine für die Siliciumreduction günstig zusammengesetzte Schlacke zu bilden, indem man nur verhältnissmässig wenig basische Zuschläge giebt, so dass ein Bisilikat oder eine noch kieselsäurereichere Schlacke entsteht, und man erniedrigt auf diese Weise möglichst wenig den Eisengehalt der Beschickung. Solche kieselsäurereiche Schlacken sind freilich, zumal bei mässigem Thonerdegehalte, verhältnissmässig leicht schmelzbar (Fig. 55 und 57 auf Seite 192 und 195). Sind die Erze dagegen kalkreich (z. B. Spatheisensteine), so würde die Bildung solcher

1) Fussanmerkung 1 auf Seite 552.
2) Nach Untersuchungen des Verfassers.

kieselsäurereicher Schlacken nur durch Anwendung reichlicher Zuschläge kieselsäurehaltiger Gesteine möglich sein, wodurch der Eisengehalt der Beschickung entsprechend abgemindert werden würde. In solchen Fällen pflegen die Schlacken zwischen Singulo- und Bisilikat zu stehen; basischere Schlacken als Singulosilikate würden in der immerhin beschränkten Temperatur der Holzkohlenhochöfen schwierig schmelzen und die Siliciumreduction erschweren. Sind die Erze aber reich an Magnesia, so ist man mitunter gezwungen, trotzdem noch einen Kalksteinzuschlag zu geben, weil die Schlacken bei zu hohem Verhältnisse der Magnesia zur Kalkerde nicht schmelzbar genug sein würden (Seite 193). Der Fall kommt z. B. auf ungarischen Eisenwerken vor.

Aus diesen Umständen erklärt sich, dass die Zusammensetzung der auf verschiedenen Hochofenwerken beim Betriebe auf Graueisen mit Holzkohlen erblasenen Schlacken ziemlich erheblichen Abweichungen unterliegt. Meistens bewegt sie sich innerhalb folgender Grenzen:

Kieselsäure	45 bis 65	v. H.
Thonerde	10 „ 5	„
Basen	45 „ 30	„

Die nachfolgenden Beispiele geben die Zusammensetzung solcher Schlacken, welche theils in früherer, theils in späterer Zeit, stets aber bei dem Betriebe mit heissem Winde[1]) erfolgt sind.

Schlacken bei Darstellung grauen Roheisens mit Holzkohlen.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicirungsgrad	Bemerkungen
Jenbach in Tyrol . .	66,90	14,08	4,48	12,24	0,85	0,83	n. best.	0,38	2,4	Aus thonerdereichen Spathen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1873, S. 93.
Groeditz in Sachsen .	63,98	3,33	0,88	22,55	5,53	1,82	3,33	0,03	2,3	Schön blaue Schlacke aus Rasenerzen mit Kalksteinzuschlag. Von mir untersucht.
Ebendaher	64,30	4,73	4,10	19,89	3,16	1,59	n. best.	n. best.	2,3	Fast weisse Schlacke. Uebrigens wie vorstehend.
Pfeilhammer in S. .	56,10	5,20	7,21	21,78	6,30	2,70	„	„	2,2	Lichtblau, krystallinisch. In meinem Laboratorium untersucht.
Ilsenburg am Harz .	56,89	6,38	2,64	28,46	2,01	1,72	1,30	„	2,3	Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde, S. 167.
Rübeland am Harz .	53,79	13,04	0 57	25,67	2,20	2,44	n. best.	„	2,0	Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde, S. 167.
Koláhpatak in Ungarn	53,40	7,65	13,40	17,00	5,17	1,07	„	0,95	1,8	Kerpely, Ungarns Eisensteine u. Eisenhüttenerzeugnisse, S. 84.
Zorge am Harz . .	49,30	12,17	2,28	31,23	0,95	0,79	2,61	0,43	1,8	Graublaue Schlacke. Von mir untersucht. Vergleiche auch S. 547.
Edsken in Schweden	46,37	4,30	7,40	38,14	1,86	0,95	0,43	0,07	1,7	Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, 1. Aufl., Abtheil. 3, S. 746.
Dernö in Ungarn . .	45,57	7,35	6,13	33,20	2,81	0,90	n. best.	2,10	1,5	Kerpely, a. a. O.
Krompach in Ungarn	44,90	7,00	14,12	25,05	4,09	0,92	2,52	0,41	1,3	Aus magnesiareichen Spathen mit Kalksteinzuschlag erzeugt. Von mir untersucht.
Neuberg in Steiermark	40,95	8,70	16,32	30,35	2,18	0,60	0,32	—	1,1	Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde, S. 170.

1) In eisernen Winderhitzern erhitzt und demnach nicht wärmer als 400° C. Bei den meisten der genannten Hochöfen stieg die Windtemperatur nicht über 300° C.

Die Zusammenstellung liefert die Bestätigung dafür, dass es unter sehr abweichenden Verhältnissen, d. h. bei sehr verschiedener Zusammensetzung der erfolgenden Schlacke, möglich sein kann, Graueisen mit Holzkohlen darzustellen. Einige Schlacken dagegen, in weit von einander entlegenen Gegenden und zu verschiedenen Zeiten erblasen, zeigen wieder eine auffallende Uebereinstimmung (z. B. die Schlacken von Pfeilhammer und Ilsenburg, ferner von Krompach und Neuberg u. a.), und gewöhnlich lässt sich in solchen Fällen auch die Uebereinstimmung in der Beschaffenheit der verwendeten Erze nachweisen.

Bei dem Betriebe mit Koks sind in Rücksicht auf deren Schwefelgehalt kieselsäurereichere Schlacken als Singulosilikate nicht wohl brauchbar. Ein mässiger Thonerdegehalt ist für die Siliciumreduction förderlich; thonerdereichere Singulosilikate können aber, wie die Schaulinien auf Seite 195 zeigen, ziemlich leicht schmelzbar sein, wodurch in der hohen Temperatur der Kokshochöfen die Verschlackung von Eisen befördert, also die Entstehung von Graueisen erschwert wird. Man pflegt also noch reichlichere Mengen Kalkstein zuzuschlagen als zur Bildung eines Singulosilikats erforderlich sein würde, und Schlacken zu bilden, deren Kieselsäuregehalt einem 0,7 Silikate entspricht, mitunter sogar bei sehr hohem Thonerdegehalte noch unter dieses Maass hinuntergeht.[1]) In dem Bestreben, durch reichlichen Kalkzuschlag auch zu thonerdeärmeren Erzen die Schmelztemperatur der Schlacken zu erhöhen, hat man bisweilen jene auf Seite 200 erwähnten kalkreichen Schlacken gebildet, welche alsbald nach dem Erstarren zu Pulver zerfallen. Die Reduction des Siliciums wird unleugbar durch die stark basische Beschaffenheit dieser Schlacken erschwert; und wenn ein theilweiser Ausgleich durch die hohe Temperatur im Schmelzraume geschaffen wird, so erheischt ein derartiger Betrieb immerhin einen hohen Brennstoffverbrauch, und man sucht deshalb in der Jetztzeit die Bildung solcher übermässig basischen Schlacken nach Möglichkeit zu vermeiden.

Diese kalkreichen Schlacken im Vereine mit der hohen Temperatur ermöglichen nun eine weitgehende, fast vollständige, Verschlackung des Schwefelgehaltes der Beschickung, und auf Seite 319 wurde schon der im ersten Augenblicke überraschenden Thatsache Erwähnung gethan, dass aus diesem Grunde das mit Koks erblasene graue Roheisen schwefelärmer zu sein pflege als das in Holzkohlenhochöfen erfolgte.

In den meisten Fällen ist die Zusammensetzung der beim Kokshochofenbetriebe auf graues Roheisen entstehenden Schlacken ungefähr folgende:

Kieselsäure	30	bis	35	v. H.
Thonerde	15	„	10	„
Basen	50	„	55	„

Kieselsäurereichere Schlacken kommen ausnahmsweise vor (wie aus der nachfolgenden Zusammenstellung erkennbar ist), wenn ein besonders schwefelarmer Brennstoff zur Verfügung steht; sind dagegen die Erze übermässig reich an Thonerde, so kann der Kieselsäuregehalt bis auf 25 v. H. sinken (manche englische und schottische Schlacken).

1) Die Thonerde der Schlacken ist bei Berechnung des Silicirungsgrades stets als Base gerechnet.

Der Kieselsäure- und Thonerdegehalt zusammen erreichen in diesen Fällen ungefähr das gleiche Maass wie in den weniger thonerdereichen Schlacken von der soeben angegebenen Zusammensetzung. Die Theorie von der Vertretung der Kieselsäure durch Thonerde in den Schlacken (Seite 189) erhält hierdurch eine scheinbare Bestätigung.

Schlacken bei Darstellung grauen Roheisens mit Koks (Anthraciten, Steinkohlen).

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicirungsgrad	Bemerkungen
Mülheim a. d. Ruhr (1895)	31,72	13,07	2,03	46,47	n. best.	1,09	n. best.	4,14	0,83	Beim Betriebe auf Hämatitroheisen. ,,Stahl und Eisen" 1895, S. 153.
Ebenda	30,88	16,95	1,58	43,01	"	0,96	"	4,66	0,78	Beim Betriebe auf Giessereiroheisen. ,,Stahl und Eisen" 1895, S. 153.
Hörde	29,45	12,83	8,10	39,78	1,95	0,54	"	8,20	0,74	Bessemerroheisen Nr. I. In Hörde untersucht.
"	29,40	11,70	11,54	36,11	0,20	0,80	"	9,08	0,76	Giessereiroheisen Nr. I. In Hörde untersucht.
Königin-Marienhütte bei Zwickau (1881)	30,20	9,22	12,31	39,23	1,13	0,32	2,35	4,79	0,74	Bessemerroheisen Nr. I. Von mir untersucht.
Schwechat bei Wien	33,25	12,17	12,91	31,26	4,91	0,95	1,56	1,98	0,82	Enthält 0,11 Calciumphosphat. Oesterreich. Jahrb. Bd. 22, S. 393.
Georgs-Marienhütte b. Osnabrück (1882)	33,60	11,20	8,99	27,02	10,98	0,97	n. best.	CaS 2,42 BaS 4,04	0,90	Beim Betriebe auf Bessemerroheisen Nr. I mit 3,9 v. H. Mn. In Georgs-Marienhütte untersucht.
Wie vorstehend (1895)	29,20	7,14	18,30	39,40	n. best.	1,60	"	4,50	0,70	Beim Betriebe auf Giessereiroheisen. ,,Stahl und Eisen" 1895, S. 153.
Zeltweg in Steiermark	33,35	13,21	7,32	37,71	1,43	0,21	0,53	5,51	0,87	Oesterr. Jahrb. Bd. 24, S. 336.
Ursprung nicht angegeben. Vermuthlich aus Minetteerzen erfolgt . .	37,10	16,70	1,90	38,50	0,70	0,40	n. best.	4,10	1,00	Nach Platz, ,,Stahl und Eisen" 1892, S. 3. Lange glasige Schlacke.
Wie vorstehend . .	35,40	9,20	2,30	47,20	0,40	0,40	"	4,60	1,00	Wie vorstehend. Kurze Schlacke.
Luxemburg . . .	37,38	10,94	1,99	46,14	0,72	1,00	"	n. best.	1,0	Bei Verhüttung von Minette.
Englische thonerdereiche Schlacken .	24,92	23,64	13,41	37,31	n. best.	n. best.	"	"	0,50	Sehr steife Schlacke. Iron, vol. 16, p. 293.
Desgl.	26,46	19,54	13,24	35,50	"	"	"	"	0,58	Besser als die vorige. Iron, vol. 16, p. 293.
"	27,65	24,69	3,55	36,56	0,35	0,72	1,45	4,39	0,60	Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde, S. 168.
Mathildenhütte bei Harzburg . . .	23,59	19,44	4,20	49,51	0,30	0,27	0 87	1,33	0,50	Aus Bohnerzen erblasen; enthält 0,13 v. H. P_2O_5. Vom Verfasser untersucht.
Anniston (Alabama) .	40,51	19,56	1,09	30,80	—	1,20	n. best.	2,61	1,1	Kupelwieser. Das Hüttenwesen auf der Weltausstellung zu Philadelphia, S. 69 u. 78.
Cedar Point Hochofen zu Port Henry am Lake Champlain; Anthracitbetrieb	47,94	12,01	4,36	31,20	0,19	1,55	"	1,75	1,5	Kupelwieser. Das Hüttenwesen auf der Weltausstellung zu Philadelphia, S. 69 u. 78.

Weissstrahliges und gewöhnliches Weisseisen. Bei Darstellung eines gewöhnlichen Weisseisens kommt es zunächst darauf an,

die Reduction grösserer Mengen Silicium, welche Graphitausscheidung hervorrufen würden, zu hindern. Das einfachste Mittel hierfür ist niedrige Temperatur im Schmelzraume; also reichlicheres Verhältniss des Erzsatzes zum Brennstoffe, als bei Darstellung von Graueisen oder Spiegeleisen. Damit aber in dieser niedrigeren Temperatur nicht Versetzungen des Ofens eintreten können, muss auch die Bildungs- und Schmelztemperatur der Schlacke tiefer liegen als bei Darstellung jener Roheisensorten. Man erreicht dieses Ziel durch Gattiren der Erze und Zuschläge in solchen Verhältnissen, dass beim Betriebe mit Koks eine Singulosilikatschlacke, beim Betriebe mit Holzkohlen eine dem 1,5 Silikat nahe stehende Schlacke mit nur mässigem Thonerdegehalte erfolgt. Führt man die gleiche Windmenge zu und verbrennt demnach in derselben Zeit ebensoviel Brennstoff, als bei Graueisendarstellung, so schmelzt man mehr Erz und erzeugt entsprechend mehr Roheisen, und eine solche Beschleunigung des Schmelzganges ist um so zulässiger, je geringeren Werth man auf einen hohen Kohlenstoff- und Mangangehalt des erfolgenden Roheisens legt.

Ein solcher Schmelzgang des Hochofens befördert nun freilich, zumal bei Verhüttung von schwieriger reducirbaren Erzen, die Entstehung einer eisenreicheren Schlacke, deren Eisengehalt als gleichbedeutend mit einem Eisenverluste zu betrachten ist. Steigt der Eisengehalt der Schlacke übermässig — bei wirklichem Rohgange —, so entsteht das auf Seite 376 besprochene geringwerthige grelle Roheisen oder Treibeisen, und der Betrieb wird wegen der Abkühlung des Ofens misslich.

Für die Darstellung des eigentlichen strahligen und hochstrahligen Roheisens, welches durch einen höheren Kohlenstoff- und Mangangehalt sich auszeichnet, ist die Anwendung manganhaltiger Erze, ein etwas weniger hoher Erzsatz und weniger stark beschleunigter Schmelzgang als bei Erzeugung des gewöhnlichen Weisseisens nothwendig. Die Temperatur im Ofen ist höher; aber von dem Mangangehalte der Beschickung darf nur ein Theil (etwa zwei Drittel) reducirt werden, da sonst Silicium reducirt werden und graues Roheisen statt weissem erfolgen würde, sobald der Mangangehalt der Schlacke nicht mehr aus reicht, das Silicium vor Reduction zu schützen. Der Fall kommt bisweilen vor; dagegen entsteht gewöhnliches Weisseisen statt des Weissstrahls, wenn die Temperatur zu niedrig, der Schmelzgang zu beschleunigt ist, um die Reduction des erforderlichen Mangangehaltes zu ermöglichen. Verhüttet man aber entsprechend manganreiche Beschickungen mit einem verhältnissmässig reichlichen Brennstoffaufwande, so entstehen Uebergangsstufen zum Spiegeleisen (Halbspiegeleisen, Seite 382).

Die Temperatur des Gebläsewindes richtet sich nach der Beschaffenheit des Brennstoffs und der Zusammensetzung der Beschickung. Beim Holzkohlenbetriebe pflegt man aus den früher besprochenen Gründen die Temperatur überhaupt nicht über 400° zu steigern. Verhüttet man mit Koks mangan- und phosphorärmere Beschickungen auf Weisseisen (Puddelroheisen), so trägt man Bedenken, allzu heissen Wind anzuwenden, um nicht siliciumhaltiges Graueisen zu erzeugen, geht aber doch, wenn steinerne Winderhitzer vorhanden sind, mitunter

auf 600° C. und noch etwas darüber. Sind die Erze aber manganhaltig und phosphorreich, so wird dadurch die Gefahr für die Reduction grösserer Mengen Silicium verringert, weil jene Körper vor dem Silicium reducirt werden, und man bläst, wenn die Vorrichtungen dafür vorhanden sind, mit 700 bis 750° warmem Winde.

Von dem Phosphorsäuregehalte der Erze geht um so mehr in die Schlacke, je eisenreicher diese ist, und bei Verhüttung phosphorreicher Erze auf Thomasroheisen können 0,8 v. H. Phosphorsäure in der Schlacke zurückbleiben, wenn diese 3 bis 4 v. H. Eisenoxydul enthält.[1])

Wie die nebenstehenden Beispiele erkennen lassen, ist die Zusammensetzung der Schlacken im Allgemeinen bei dem Betriebe auf diese Roheisenarten etwa:

beim Holzkohlenbetriebe

Kieselsäure	45	bis	50	v. H.
Thonerde	10	„	5	„
Basen	45	„	45	„

beim Koksbetriebe

Kieselsäure	30	bis	40	v. H.
Thonerde	10	„	5	„
Basen	60	„	55	„

Spiegeleisen. Ein mangan- und kohlenstoffreiches, siliciumarmes Roheisen soll erzeugt werden. Die Reduction des Mangans erfolgt nur durch festen Kohlenstoff; sie kann nicht früher oder doch in erheblichem Maasse nicht früher stattfinden, bevor nicht das Eisen reducirt worden ist. Aus diesem Grunde ist die Anwendung leicht reducirbarer Erze von Vortheil; geröstete manganhaltige Spatheisensteine pflegen das Hauptmaterial für die Spiegeleisendarstellung zu bilden, und man versetzt sie mit manganhaltigen Brauneisenerzen, Rotheisenerzen u. a. Die Leichtreducirbarkeit der Erze befördert zugleich die Aufnahme von Kohlenstoff; denn je früher die Reduction des Eisens stattfindet, desto mehr Gelegenheit findet das reducirte Metall, noch Kohlenstoff aufzunehmen.

Dass man zur Darstellung des Spiegeleisens nicht phosphorreiche Erze benutzen werde, wurde bereits erläutert.

Für hochmanganhaltiges Spiegeleisen reicht der Mangangehalt der Spathe selten aus, und man ist genöthigt, den Eisenerzen Manganerze zuzusetzen.

Die Reduction des Mangans wird durch hohe Temperatur im Schmelzraume und basische Beschaffenheit der Schlacke befördert. Die Erzielung der erforderlichen hohen Temperatur wird, wie bei der Darstellung von Graueisen durch Anwendung hocherhitzten Windes und von Koks statt Holzkohlen erleichtert; die Reduction des Mangans aber bedingt einen hohen Wärmeverbrauch, welcher durch einen entsprechenden Aufwand an Brennstoff gedeckt werden muss. Mit dem Mangangehalte des Roheisens wächst dieser Brennstoffverbrauch. Ihrer Zusammensetzung nach pflegt die Schlacke einem Singulosilikate nahe zu stehen oder noch basischer als dieses zu sein. Mitunter freilich findet man auch Schlacken mit höherem Kieselsäuregehalte, aber neben diesem

1) „Stahl und Eisen" 1895 (Schilling).

Schlacken bei Darstellung von Weissstrahl und gewöhnlichem Weisseisen.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicirungsgrad	Bemerkungen
Holzkohlenhochöfen:										
Neuberg in Steiermark	43,70	10,40	13,17	23,54	5,10	0,13	2,22	1,24	1,3	Beim Betriebe mit Holzkohlen auf Weissstrahl. Oesterr. Jahrb. Bd. 20, S. 68.
Judenburg in Steiermark	47,28	6,36	8,72	21,77	11,30	1,12	1,54	1,17	1,5	Oesterr. Jahrb. Bd. 23, S. 362.
Reschitza in Ungarn	45,56	8,69	9,15	25,79	8,83	0,79	Sp.	1,40	1,4	Beim Betriebe auf feinstrahliges Weisseisen. Kerpely, Ungarns Eisensteine, S. 84.
Bogschán in Ungarn	48,80	8,88	4,11	26,50	9,02	2,26	0,05	0,20	1,6	Wie vorstehend.
Kokshochöfen:										
Eisenwerk am Niederrhein	42,23	9,84	1,32	37,13	0,97	2,60	n. best.	4,32	1,3	Beim Betriebe auf gewöhnliches Weisseisen. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 2, S. 312.
Gutehoffnungshütte in Oberhausen (1879)	39,45	10,70	2,34	36,42	1,95	6,04	1,79	1,05	1,1	Beim Betriebe auf gewöhnliches Weisseisen. Schwarze, in vierseitigen Tafeln krystallisirte Schlacke. Von mir untersucht.
Durchschnittliche Zusammensetzung der in niederrheinisch-westfälisch. Hochöfen beim Betriebe auf phosphorarmes Puddelroheisen fallenden Schlacken (1895)	34,0	7,0	6,0	41,0	4,0	1,0	n. best.	3,0	1,0	Nach Weinlig; „Stahl u. Eisen" 1895, S. 142.
Eisenwerk am Niederrhein	35,80	12,60	2,89	37,11	5,94	0,24	„	4,64	1,0	Beim Betriebe auf weissstrahliges Roheisen. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 2, S. 312.
Georgs-Marienhütte	40,65	4,44	8,87	32,90	5,16	2,98	„	2,34	1,2	Beim Betriebe auf weissstrahliges Roheisen. Von mir untersucht.
Gleiwitz	38,49	6,99	6,83	38,60	5,26	0,63	„	2,40	1,1	Beim Betriebe auf spiegliges Roheisen (Analyse desselben auf S. 383) aus 4 Thln. Frischschlacken, 3 Thln. Braun- und 3 Thln. Spatheisenstein mit Kalksteinzuschlag. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen, Bd. 22, S. 286.
Eisenwerk Union, Dortmund (1883)	34,82	8,52	5,52	40,52	5,47	0,26	„	5,01	1,0	Beim Betriebe auf Thomasroheisen. Enthält 0,16 v. H. P_2O_5. Persönliche Mittheilung.
Hörde (1882)	32,45	12,38	9,00	35,05	6,31	0,58	„	4,25	0,8	Beim Betriebe auf Thomasroheisen. In Hörde untersucht (enthält 0,02 v. H. P_2O_5).
Eisenwerk Vulkan, Duisburg (1883)	31,92	9,83	2,03	46,73	3,78	0,71	„	4,36	0,9	Beim Betriebe auf Thomasroheisen. Enthält 0,32 v. H. P_2O_5. Persönliche Mittheilung.
Ilsede (1879)	29,85	10,60	3,69	37,49	13,58	0,59	„	2,97	0,8	Beim Betriebe auf weissstrahliges Roheisen mit etwa 3 v. H. P. Enthält 0,16 v. H. P_2O_5. Von mir untersucht.
Friedenshütte (1895)	37,78	8,19	12,23	36,31	1,21	0,19	„	3,06	0,9	Beim Betriebe auf Thomasroheisen. Von mir untersucht.

auch dann regelmässig einen höheren Mangangehalt. Vorwiegend entstammen solche kieselsäurereicheren Schlacken dem Betriebe mit Holzkohlen und weniger stark erhitztem Winde, wobei die zum Schmelzen kalkreicherer und manganärmerer basischer Schlacken erforderliche hohe Temperatur nicht erreicht werden konnte.

Die Bedingungen für Bildung des Spiegeleisens sind somit denen für Bildung von tiefgrauem Roheisen ähnlich; nothwendig für Spiegeleisenerzeugung ist aber immerhin — auch bei Bildung kalkreicher basischer Schlacken — die Gegenwart eines gewissen Mangangehaltes in der Schlacke. Ohne diese erfolgt halbirtes oder graues Roheisen. Die Regel ist, dass bei Anwendung von Koks und hocherhitztem Winde 20 bis 30 v. H. des Mangangehaltes der Beschickung in der Schlacke zurückbleiben müssen. Durch Verlangsamung des Schmelzganges und Erhöhung des Brennstoffsatzes zum Erze würde man zwar im Stande sein, grössere Mengen Mangan zu reduciren; daneben aber würde auch Silicium in reicherem Maasse reducirt werden, und das erfolgende Roheisen würde Graphitbildung zeigen. Die Wirkung dieses Mangangehaltes der Schlacke ist unschwer zu erkennen. Da die Schlacke stark basisch ist, wird die Reduction des Siliciums erschwert oder unmöglich gemacht, so lange in der Schlacke noch reichlichere Mengen einer durch Kohlenstoff reducirbaren Base — des Manganoxyduls — zugegen sind; der Manganoxydulgehalt der Schlacke bildet, wie auch bei Darstellung weissstrahligen Roheisens, einen Schutz gegen die Reduction des Siliciums. Je mehr der Gehalt an Manganoxydul abnimmt und je mehr dadurch die Schlacke zugleich an basischer Beschaffenheit einbüsst, desto ungehinderter können die reducirenden Einflüsse des Hochofens auch auf den Kieselsäuregehalt der Schlacke sich ausdehnen.

Ein hoher Thonerdegehalt der Schlacke erschwert die Spiegeleisenbildung. Der Umstand, dass die Thonerde als sehr schwache Base, sofern sie an Stelle stärkerer Basen zugegen ist, die Reduction des Siliciums und somit die Entstehung von Graueisen begünstigt und die Reduction des Mangans nicht in dem Maasse wie stärkere Basen erleichtert, erklärt leicht jene Thatsache.

Bei dem Betriebe mit Koks pflegt die Zusammensetzung der Schlacke ungefähr folgende zu sein:

Kieselsäure	30 v. H.,
Thonerde	10 v. H.,
Manganoxydul . . .	5 bis 15 v. H. (mit dem Mangangehalte des erfolgenden Roheisens wachsend),
Kalkerde, Magnesia .	55 bis 45 v. H.

Beim Betriebe mit Holzkohlen sind die Schlacken häufig, um ausreichend leicht schmelzbar zu sein, saurer (1,4 = Silikat) und deshalb auch manganreicher. Der Manganverlust ist grösser, der Mangangehalt des erfolgenden Roheisens geringer als bei Verhüttung der nämlichen Erze mit Koks.

Erwähnung verdient der Umstand, dass in der hohen Temperatur, welche die Darstellung hochmanganhaltigen Spiegeleisens erheischt, ein Theil des Mangans vor dem Formen verflüchtigt und mit den Gichtgasen

Schlacken bei Darstellung von Spiegeleisen.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicirungsgrad	Bemerkungen
Hörde (1883) . . .	29,00	8,11	7,14	43,05	7,04	0,42	n. best.	3,74	0,8	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 10—12 v. H. Mn. In Hörde untersucht. Persönliche Mittheilung.
Creuzthal (1883) . .	30,70	11,60	8,51	35,73	8,78	0,48	„	4,15	0,8	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 11,5 v. H. Mangan. In Creuzthal untersucht. Persönliche Mittheilung.
Niederrheinisches Eisenwerk . . .	37,72	8,04	6,30	31,30	11,51	0,20	„	4,80	1,1	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 16 v. H. Mangan. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 2, S. 312.
Georgs-Marienhütte (1883)	30,65	9,18	7,58	40,25	2,97	1,54	„	CaS 2,22 BaS 5,24	0,8	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 4,75 v. H. Mn. In Georgs-Marienhütte untersucht.
Maximilianshütte (1896)	32,70	8,01	7,69	32,15	8,07	0,41	„	CaS 2,68 BaS 6,93	1,1	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 9 v. H. Mangan. Von mir untersucht.
Mittlere Zusammensetzung der im Siegerlande beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 10 bis 12 v. H. Mangan fallenden Schlacken	29,0	8,5	3,0	39,0	15,0	0,5	„	3,5	0,85	„Stahl und Eisen" 1895, S. 143.
Reschitza (Betrieb mit Holzkohlen, 1877).	41,22	6,45	1,48	9,55	39,49	1,03	0,6	0,21	1,4	Bei Darstellung von Spiegeleisen mit 7 v. H. Mangan gefallen. (Kerpely, Ungarns Eisenerze, S. 84). Kalkarme, saure Schlacke, daher sehr hoher Manganverlust.

entführt werden kann, nachdem es in dem an Kohlensäure und Wasserdampf reicheren Gasstrome des obern Theiles des Hochofens wieder zu braunem Manganoxyduloxyd verbrannt worden ist. Whiting fand, dass bei Darstellung von Spiegeleisen mit 30 v. H. Mangan — also einer Uebergangsstufe zwischen eigentlichem Spiegeleisen und Eisenmangan — 1,7 v. H. des Mangangehaltes der Erze verflüchtigt wurden.[1])

Eisenmangan. Grössere Mengen Mangan als für Darstellung des Spiegeleisens sollen reducirt werden. Alle für die Manganreduction förderlichen Mittel müssen also in erhöhtem Maasse angewendet werden: hohe Temperatur, stark basische Schlacke, verzögerter Schmelzgang, reiches Verhältniss des Brennstoffs zum Erz. Je höher der Mangangehalt werden soll, desto mehr wirkliche Manganerze müssen der Beschickung zugeschlagen werden, und bei Darstellung der reichsten Eisenmangane besteht sie nur aus Manganerzen mit den entsprechenden schlackenbildenden Zuschlägen.

Da die Erzeugungstemperatur der Eisenmangane höher liegt als die Verdampfungstemperatur des Mangans, wird ein Theil des letzteren verflüchtigt. In dem oberen Theile des Hochofens verbrennt es, wie bei Spiegeleisendarstellung, unter der Einwirkung von Kohlensäure,

1) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 20, p. 290.

Wasserdampf oder dem Sauerstoff der Erze, wird in feiner Vertheilung von den Gasen mit empor geführt und entweicht als brauner Rauch aus dem Hochofen. Die Menge des verflüchtigten Mangans wächst mit dem Mangangehalte der erfolgenden Legirung und der Temperatur im Ofen. Nach Schilling[1]) können bei Darstellung von Eisenmanganen mit 60 bis 70 v. H. Mangan durch Verflüchtigung bis zu 17 v. H. des ursprünglichen Mangangehaltes, bei manganreicheren Eisenmanganen noch mehr verloren gehen; nach Whiting dagegen betrug der Verlust bei Darstellung von Eisenmangan mit 83 v. H. Mangan nur 5,4 v. H.

Wegen des Umstandes, dass dem aufsteigenden Gasstrome durch den geringeren Erzsatz weniger Wärme als bei gewöhnlichem Betriebe entzogen wird, tritt eine starke Erhitzung des ganzen Ofens ein; verhüttet man aber Manganerze (Braunsteine), deren Sauerstoffgehalt grösser ist als der des Oxyds oder Oxyduloxyds, so werden sie schon im oberen Theile des Hochofens durch den heissen kohlenoxydreichen Gasstrom zu Oxyduloxyd oder auch zu Oxydul reducirt, welcher Vorgang von einer Wärmeerzeugung begleitet ist. Bei Reduction des Superoxyds MnO_2 durch Kohlenoxyd ist ein Wärmeverbrauch von 1790 W.-E. für 1 kg Sauerstoff, welcher den Erzen entzogen wird erforderlich.[2]) Diesem Wärmeverbrauche steht eine Wärmeerzeugung durch Verbrennung des als Reduction dienenden Kohlenoxyds gegenüber. Da der chemische Vorgang nach der Formel $MnO_2 + CO = MnO + CO_2$ verläuft, entwickelt hierbei 1 kg Sauerstoff 4200 W.-E.;[3]) der reine Wärmegewinn beträgt mithin $4200 - 1790 = 2410$ W.-E. Da die Reduction der sauerstoffreicheren Manganerze zu niedrigeren Oxydationsstufen im Kohlenoxydstrome schon bei einer Temperatur von 300° C. vor sich gehen kann, die Gase aber heiss in dem Ofen aufsteigen, findet jene Wärmeentwickelung vorwiegend in dem oberen Theile des Ofens statt; die Folge davon ist eine fernere Temperatursteigerung, d. h. eine Verstärkung des ohnehin durch den reichlichen Brennstoffsatz hervorgerufenen Oberfeuers.[4]) Dieses Oberfeuer erschwert den Betrieb der Manganhochöfen. Es wirkt zerstörend auf die Schachtsteine, sofern sie nicht durch besondere Kühlungen geschützt sind, und ein öfteres Durchbrennen ist

1) „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 223.

2) Die Ziffer ergiebt sich aus den auf Seite 54 gegebenen Mittheilungen. Die Wärmeentwickelung bei der Verbrennung von Manganoxydul zu Mangansuperoxyd beträgt $2250 - 1730 = 520$ W.-E. für 1 kg Mangan; also für 1 kg Sauerstoff $^{55}/_{16} \times 520 = 1790$ W.-E.

3) Nach den Mittheilungen auf Seite 51 beträgt die Wärmeentwickelung bei Verbrennung von 1 kg Kohlenoxyd mit $^4/_7$ kg Sauerstoff 2400 W.-E.; mithin erzeugt 1 kg Sauerstoff $^7/_4 \times 2400 = 4200$ W.-E.

4) Bei dem Eisenwerk Hörde wurden im Jahre 1881 einige Ermittelungen über diese durch Anwendung sauerstoffreicher Manganerze hervorgerufene Temperatursteigerung angestellt. Die Oxydationsstufe der rohen Erze entsprach annähernd dem Verhältnisse Mn_5O_8. Die Temperatur der Gichtgase war bei drei Messungen zu verschiedenen Zeiten an zwei aufeinander folgenden Tagen 650°, 600° und 725°, durchschnittlich also 660° C. Bei Verhüttung der nämlichen Erze, welche jedoch durch vorausgehende Behandlung mit heissen Koksofengasen in Mn_3O_4 umgewandelt worden waren, während alle übrigen Betriebsverhältnisse unverändert blieben, betrug dagegen die Temperatur der Gichtgase 525°, 600°, 475° und 525°, durchschnittlich also 530° C. Die Temperaturerniedrigung bei Verhüttung der sauerstoffärmeren Erze war mithin 130° C. (Persönliche Mittheilung.)

die Folge; im Vereine mit dem erwähnten starken Gichtrauche macht es das Abfangen und die Benutzung der Gichtgase schwieriger, da die Gichtgasfänge in der hohen Temperatur leichter zerstört werden und der Staubgehalt der Gase die Leitungen verstopft. Mitunter lässt man die Gase unbenutzt aus der Gicht entweichen, wo sie mit langer heisser Flamme verbrennen; bisweilen fängt man sie wie andere Gichtgase auf, reinigt sie und mischt sie mit den Gasen andrer Hochöfen.

Je höher der Mangangehalt in der darzustellenden Legirung ausfallen soll, desto grösser wird der Manganverlust durch Verflüchtigung und Verschlackung, desto höher der erforderliche Brennstoffverbrauch, desto stärker das Oberfeuer und die daraus hervorgehenden Schwierigkeiten.

Es ist daher leicht erklärlich, dass der Selbstkostenpreis der gleichen Menge metallischen Mangans sich höher beziffert, wenn es in einer manganreicheren als wenn es in einer manganärmeren Legirung enthalten ist.

Verzögert man den Betrieb in der Weise, dass die Schlacke manganarm wird, oder bildet man weniger stark basische Schlacken, so wird neben dem Mangan eine grössere Menge Silicium reducirt, und so entstehen die auf Seite 382 erwähnten Siliciumeisenmangane (Silicium-Spiegel).

Schlacken bei Darstellung von Eisenmanganen.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicirungsgrad	Bemerkungen
Reschitza (vermuthlich mit Holzkohlen erzeugt) . .	36,60	9,49	5,14	19,98	27,69	0,74	Sp.	0,23	1	Beim Betriebe auf Eisenmangan mit 34 v. H. Mn. (Kerpely, Ungarns Eisenerze u. s. w. S. 84).
Niederrheinisches Eisenwerk . . .	30,04	14,84	1,37	31,24	17,00	0,33	n. best.	4,48	0,80	Beim Betriebe auf Eisenmangan mit 60 v. H. Mangan. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 2, S. 312.
Hörde	26,50	8,10	8,30	42,40	10,76	n. best.	„	4,87	0,65	Beim Betriebe auf Eisenmangan mit 50 v. H. Mangan. Zeitschr. des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark u. Kärnten 1880, S. 248.
Phönix bei Ruhrort (1878)	26,65	15,15	0,86	41,29	14,94	0,79	„	n. best.	0,60	Bei Darstellung von Eisenmangan mit 57 v. H. Mangan. Im Laboratorium des genannten Eisenwerkes untersucht.
Ebenda (1880) . .	23,50	15,30	2,72	48,94	7,63	0,71	„	„	0,50	Bei Darstellung von Eisenmangan mit 66 v. H. Mangan. Im Laboratorium des Eisenwerkes untersucht.
Terre noire (1878).	27,75	15,25	4,00	37,77	7,56	Sp.	„	BaS 4,30 CaS 2,23	0,70	Bei Darstellung von Eisenmangan mit 81 v. H. Mangan in einem mit Graphitziegeln zugestellten Hochofen. „Stahl und Eisen" 1885, S. 486.

c) Die Berechnung der Beschickung.

Die erste zu erfüllende Bedingung, um im Hochofen mit Erfolg schmelzen zu können, muss die Zusammenstellung der Erze und Zu-

schläge in solchen gegenseitigen Gewichtsverhältnissen sein, dass die erfolgende Schlacke den erforderlichen Grad der Schmelzbarkeit besitzt, und dass ihre Menge im Verhältnisse zu der des erfolgenden Roheisens weder zu knapp noch zu reichlich ausfalle.

Die geeigneten Gewichtsverhältnisse ermittelte man früher stets auf dem Wege des Versuchs, indem man verschiedene Beschickungen zunächst im Tiegel probeweise schmolz, bis der gewünschte Erfolg erreicht war. Rascher und sicherer aber gelangt man durch Berechnung zum Ziel.

Bevor die Rechnung ausgeführt werden kann, muss man sich ein Urtheil darüber bilden, welche Zusammensetzung der Schlacke am geeignetsten für die Darstellung dieser oder jener Roheisenart unter gegebenen Verhältnissen (Betrieb mit Holzkohlen oder Koks, Anwendung stärker oder weniger stark erhitzten Windes u. s. w.) ist. Analysen von Hochofenschlacken, welche unter ähnlichen Betriebsverhältnissen gefallen waren, pflegen als Richtschnur hierbei zu dienen. Man trachtet darnach, die Beschickung in solcher Weise zusammenzustellen, dass eine der als Vorbild in's Auge gefassten Schlacke möglichst ähnliche Schlacke erfolge. Beispiele der Zusammensetzung von Hochofenschlacken, welche bei Darstellung der verschiedenen Roheisenarten erfolgten, sind oben gegeben. Da es nun aber bei der ziemlich grossen Zahl der in den Hochofenschlacken auftretenden Körper und der Mannigfaltigkeit in der Zusammensetzung der verhütteten Materialien nicht immer möglich ist, aus vorhandenen Erzen und Zuschlägen eine Beschickung zu berechnen, welche eine Schlacke von genau der in's Auge gefassten Zusammensetzung liefert, begnügt man sich, eine Schlacke zu bilden, welche wenigstens in den wesentlichsten, die Schmelzbarkeit bedingenden Umständen jene Uebereinstimmung zeigt. Hierher gehört das Verhältniss der Kieselsäure und Thonerde zu den stärkeren Basen (Kalkerde und Magnesia); ausserdem auch, wenn irgend möglich, das gegenseitige Verhältniss der beiden genannten Basen. Es lässt sich im Betriebe häufig die Beobachtung machen und ist durch Åkermans Versuche (Seite 193) erwiesen, dass dieses gegenseitige Verhältniss von Kalkerde und Magnesia keineswegs gleichgültig für die Schmelzbarkeit der Schlacke ist; eine Schlacke mit zu hohem Magnesiagehalte ist sehr strengflüssig, während ein geringer Magnesiagehalt sie leichter schmelzbar macht.

Bei der Berechnung ist jedoch auch die Menge der erfolgenden Schlacke im Verhältnisse zu der Menge des erfolgenden Roheisens und das Ausbringen an Roheisen aus der Beschickung zu berücksichtigen. Je reichlicher die Schlackenmenge ist, desto mehr Wärme wird für ihre Schmelzung verbraucht, desto mehr Brennstoff muss auf Erzeugung jener Wärme verwendet werden; je geringer die Schlackenmenge ist, desto rascher ändert sie ihre Zusammensetzung bei vorkommenden Unregelmässigkeiten im Ofengange, desto empfindlicher ist der Ofen gegen zufällige Störungen des Gleichgewichts im Wärmehaushalte, desto leichter tritt Rohgang ein. Ein Hochofenbetrieb ohne Schlacke ist überhaupt kaum denkbar. Immerhin wird der Fall nur höchst selten vorkommen, dass man gezwungen ist, lediglich zur Vermehrung der Schlackenmenge entsprechende Zuschläge zu geben.

Bei Bilbaoer Eisenwerken, welche dortige Erze mit 51,5 v. H. Ausbringen aus der Möllerung verarbeiten, soll das Gewichtsverhältniss der erfolgenden Schlacke zum Roheisen nicht grösser als 0,37 : 1 sein; bei steirischen und kärntnischen Eisenwerken, welche aus leicht reducirbaren Erzen mit Holzkohlen Weisseisen darstellen, ist das Verhältniss 0,6 : 1; bei deutschen und luxemburger Kokshochöfen 0,8 : 1 bis 1 : 1; bei Cleveländer Hochöfen, welche mit Koks auf Giessereiroheisen betrieben werden, 1,5 : 1; selten steigt es auf 2 : 1. Eine reichere Schlackenmenge als in dem letzteren Falle würde den Brennstoffverbrauch in einer Weise erhöhen, dass der Betrieb nicht mehr als wirthschaftlich vortheilhaft erscheinen kann.

Zu dem Schlackengehalte der Beschickung steht das Ausbringen an Roheisen aus dem Möller in Beziehung. In den meisten Fällen schwankt es zwischen 30 bis 45 v. H. des Möllergewichts. Bei jenen erwähnten alpinen Hochöfen steigt es mitunter bis auf 50 v. H. und bei einigen nordamerikanischen Hochöfen noch darüber; bei einem niedrigeren Ausbringen als 25 v. H. dagegen kann man nur unter ganz besonderen Verhältnissen in der Lage sein, einen nutzbringenden Betrieb zu führen.

Auch die Preise der verschiedenen zur Verhüttung bestimmten Erze und die Menge, in welcher sie bezogen werden können, müssen bei der Zusammenstellung der Beschickung berücksichtigt werden. Nicht immer lässt sich ein Erz in beliebiger Menge verwenden; sein Bezugspreis ist oft zu hoch, als dass seine reichliche Verwendung wirthschaftlich zu rechtfertigen wäre, oder die verfügbare Menge ist beschränkt.

Endlich müssen auch der Phosphor- und Mangangehalt des erfolgenden Roheisens Beachtung finden. In einem Falle darf das Roheisen nur kleine Mengen Phosphor enthalten, um benutzbar zu sein (Bessemerroheisen), in einem zweiten Falle ist ein höherer Phosphorgehalt zulässig (Giesserei- und Puddelroheisen), in einem dritten Falle unentbehrlich (Thomasroheisen). Das Gleiche gilt vom Mangan. Der Phosphorgehalt der Erze geht annähernd vollständig, der Mangangehalt, je nachdem man mit saurer oder basischer Schlacke, in niedriger oder hoher Temperatur schmelzt, zur Hälfte bis zu vier Fünfteln in das Roheisen über.

Die Aufgabe, aus gegebenen Erzen und Zuschlägen eine Beschickung zu berechnen, aus welcher unter den besprochenen Bedingungen eine entsprechend zusammengesetzte Schlacke erfolgt, lässt in verschiedener Weise sich lösen.

Mrázeks stöchiometrisches Verfahren. Einer der ersten, welche ein Verfahren ersannen, um in thunlichst kurzer Zeit auch aus einer grösseren Zahl von Erzen und Zuschlägen eine zweckentsprechende Zusammenstellung zu bilden, war Mrázek.[1]) Sein Verfahren ist etwas umständlich, und aus diesem Grunde wird es nicht gerade häufig angewendet. Dennoch ist seine Benutzung ziemlich leicht, sofern erst die als Unterlage für alle Fälle dienenden Rechnungen ausgeführt worden sind, und nicht selten hat es als Vorbild für das eine oder andere etwas vereinfachte Verfahren gedient. Aus diesem Grunde möge

1) Vergleiche Litteratur.

es hier als erstes Beispiel jener Verfahren für Berechnung der Beschickung beschrieben werden.

Mrázek ging bei seiner Berechnung von der früher allgemein verbreiteten Anschauung aus, dass in einer Schlacke die Bestandtheile, insbesondere Kieselsäure und Basen, sich in wirklicher chemischer Verbindung (im engern Sinne) befinden, die Basen sich in den Verhältnissen ihrer Molekülgewichte vertreten, und dass demnach die Berechnung einer Schlacke nur nach stöchiometrischen Grundsätzen erfolgen dürfte.

Auf Grund der chemischen Zusammensetzung der Erze und Zuschläge sowie der Koksasche wird demnach bei Mrázeks Verfahren eine Tabelle aufgestellt, welche folgende Einrichtung besitzt (s. Seite 571).

Die Spalten 1 bis 5 enthalten die durch die Analyse gefundene Menge der in einer Gewichtseinheit des Erzes, der Zuschläge und der Koksasche enthaltenen schlackengebenden Bestandtheile. Ist zu erwarten, dass ein Theil der Bestandtheile des Erzes ausser dem Eisen reducirt werde — z. B. ein Theil des Mangan- oder Siliciumgehaltes —, so ist hierauf Rücksicht zu nehmen. Die Reduction des Siliciums kann bei Weisseisendarstellung vernachlässigt werden; bei Graueisendarstellung wird man annehmen können, dass ein Kieselsäuregehalt, welcher $^1/_{25}$ des Eisengehaltes im Erze ausmacht (entsprechend etwa 2 v. H. Silicium im Roheisen), reducirt werde; bei einigermaassen beträchtlicher Schlackenmenge kann man jedoch auch hierbei die Reduction des Siliciums vernachlässigen, da die ganze Berechnung wegen der mancherlei vorkommenden unberechenbaren Vorgänge im Hochofen (Verflüchtigung verschiedener Körper in Form von Chloriden, Cyaniden, Sulfiden, Zurückbleiben unreducirten Eisens in den Schlacken u. s. w.) immerhin nur Annäherungswerthe zu liefern im Stande ist, welche später durch den Versuch Ausgleichung finden müssen.

Spalte 6 enthält die Summe sämmtlicher schlackenbildender Bestandtheile, Spalte 7 den Eisengehalt (welchem bei Reduction beträchtlicher Mengen Mangan diese hinzuzurechnen sein würden). Beide Spalten ermöglichen später die Ermittelung des Verhälnisses zwischen Schlacke und Eisen in einer berechneten Beschickung, sowie des Eisenausbringens.

In den Spalten 8 bis 13 folgen die Sauerstoffgehalte der in den Spalten 1 bis 5 aufgeführten Gewichtsmengen der einzelnen Körper. Eine Zusammenzählung der in den Spalten 8 bis 11 enthaltenen Ziffern ergiebt die Ziffer für Spalte 12, d. h. den gesammten in Basen auftretenden Sauerstoff (mit B bezeichnet), während Spalte 13 (S) den Sauerstoffgehalt der Kieselsäure angiebt. Das Verhältniss $\frac{S}{B}$ bezeichnet den Silicirungsgrad des betreffenden Erzes, Zuschlages u. s. w.

Hieraus lassen sich nun die Ziffern für die Spalten 14 bis 17 berechnen, welche angeben, wie viel Sauerstoff entweder die Basen oder die Kieselsäure des betreffenden Erzes u. s. w. überschüssig enthalten, wenn irgend ein vorgeschriebenes Silikat gebildet werden soll. In der als Beispiel benutzten Tabelle ist die Rechnung für Singulosilikat und für Bisilikatbildung durchgeführt worden; in derselben Weise würde sie für Subsilikat, Sesquisilikat und jede andere Silicirungsstufe, entsprechend der Zusammensetzung der zu bildenden Schlacke, sich haben anstellen lassen.

Stöchiometrische Erz- und Zuschlagstabelle der Eisenhütte zu

Benennung des Erzes, Zuschlages u. s. w.	1 Gewichtstheil enthält																	Stöchiometrische Aequivalente			
	Schlackengebende Bestandtheile							Sauerstoff der schlackengebenden Bestandtheile						Ueberschüssiger Sauerstoff neben einem				Bedarf an Erz oder Zuschlag zur Einbringung von 1 Gewichtsth. des neben einem			
														Singulosilikat		Bisilikat		Singulosilikat		Bisilikat	
																		überschüssigen Sauerstoffs			
	MnO	CaO	MgO	Al_2O_3	SiO_2	Sa	Fe	MnO	CaO	MgO	Al_2O_3	Sauerstoff der Basen	Sauerstoff der SiO_2	in den Basen	in der Säure	in den Basen	in der Säure	in den Basen	in der Säure	in den Basen	in der Säure
												B.	*S.*	β	σ	β	σ	$\frac{1}{\beta}$	$\frac{1}{\sigma}$	$\frac{1}{\beta}$	$\frac{1}{\sigma}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1. Liaserz (oolithisches Brauneisenerz) . .	0,007	—	—	0,065	0,156	0,228	0,428	0,0016	—	—	0,0305	0,0321	0,0832	—	0,0511	—	0,0190	—	19,59	—	52,62
2. Spatheisenstein	0,023	0,159	0,085	—	0,011	0,278	0,226	0,0051	0,0454	0,0340	—	0,0845	0,0059	0,0786	—	0,0815	—	12,72	—	12,27	—
3. Rasenerz. .	0,003	0,012	—	0,010	0,095	0,120	0,403	0,0007	0,0034	—	0,0047	0,0088	0,0506	—	0,0418	—	0,0330	—	23,92	—	30,30
4. Kalkstein. .	—	0,518	—	—	0,021	0,539	—	—	0,1480	—	—	0,1480	0,0112	0,1368	—	0,1424	—	7,31	—	7,02	—
5. Koksasche .	—	0,2000	—	0,150	0,500	0,850	0,1000	—	0,0571	—	0,0705	0,1276	0,2664	—	0,1388	—	0,0112	—	7,20	—	89,28

Bei dem unter 1 aufgeführten Liaserze z. B. beträgt nach Spalte 12 der Sauerstoff der Basen 0,0321, nach Spalte 13 der Sauerstoff der Kieselsäure 0,0832 Gewichtstheile in 1 Gewichtstheil Erz. Für Bildung einer Singulosilikatschlacke, in welcher der Sauerstoffgehalt der Basen gleich dem der Kieselsäure sein soll, besitzt demnach das Erz überschüssigen Sauerstoff der Kieselsäure, und zwar 0,0832 — 0,0321 = 0,0511 Gewichtstheile; diese Ziffer kommt nach Spalte 15. Soll dagegen Bi-Silikatschlacke gebildet werden, bei welcher der Sauerstoffgehalt der Kieselsäure doppelt so gross ist als der der Basen, so würden für die 0,0321 Gewichtstheile Basensauerstoff 2 × 0,0321 = 0,0642 Gewichtstheile Sauerstoff der Kieselsäure erforderlich sein; es ist also immer noch ein Ueberschuss des Sauerstoffs der Kieselsäure = 0,0832 — 0,0642 = 0,0190 Gewichtstheile vorhanden (Spalte 17).

Bezeichnet man (wie in der Tabelle bereits geschehen) die Ziffern der Spalte 12 allgemein mit B, der Spalte 13 mit S, der Spalte 14 und 16 mit β, der Spalte 15 und 17 mit σ, so hat man

für $^2/_3$ Silikatbildung $\beta = B - 1^1/_2\, S$
$\sigma = S - {}^2/_3\, B$
für Singulosilikatbildung . . . $\beta = B - S$
$\sigma = S - B$
für Sesquisilikatbildung . . . $\beta = B - {}^2/_3\, S$
$\sigma = S - 1^1/_2\, B$
für Bisilikatbildung $\beta = B - {}^1/_2\, S$
$\sigma = S - 2\, B$

allgemein für die Bildung eines Silikates, in welchem das Verhältniss des Sauerstoffgehaltes der Kieselsäure zu dem der Basen = n ist:

$$\beta = B - \frac{1}{n} S$$
$$\sigma = S - n\, B.$$

Als gegenseitige Werthe $\left(\frac{1}{\beta}, \frac{1}{\sigma}\right)$ der Ziffern in den soeben besprochenen Spalten ergeben sich nun durch einfache Theilung die Ziffern der Spalten 18 bis 21. Sie geben an, wieviel Gewichtstheile des Erzes, Zuschlages u. s. w. erforderlich sind, um 1 Gewichtstheil des neben einem Singulosilikate, Bisilikate u. s. w. überschüssigen Sauerstoffs in die Beschickung zu bringen. Wenn 1 Gewichtstheil Erz β Gewichtstheile Sauerstoff in den Basen mehr enthält, als zur Bildung eines vorgeschriebenen Silikates nothwendig ist, so bedarf man offenbar, um 1 Gewichtstheil dieses überschüssigen Basensauerstoffs in die Beschickung zu bringen, $\frac{1}{\beta}$ Gewichtstheile des betreffenden Erzes; die nämliche Beziehung ergiebt sich, wenn das Erz nicht überschüssigen Basensauerstoff, sondern Kieselsäuresauerstoff enthält. Das Liaserz Nr. 1 enthält für Singulosilikatbildung in 1 Gewichtstheil Erz 0,0511 überschüssigen Kieselsäuresauerstoff; zur Einbringung von 1 Gewichtstheil dieses überschüssigen Kieselsäuresauerstoffs sind demnach $\frac{1}{0{,}0511} = 19{,}59$ Gewichtstheile Erz erforderlich (Spalte 19).

Die Ziffern dieser Spalten, in der Ueberschrift als stöchiometrische Aequivalente bezeichnet, geben also diejenigen Gewichtsmengen der verschiedenen Erze u. s. w. an, durch welche bei bestimmter Silikatbildung die gleichen Mengen Sauerstoff in die Beschickung geführt werden. Alle in derselben Spalte erscheinenden Ziffern sind betreffs der Silikatbildung einander gleichwerthig; sie geben an, wieviel des einen Erzes u. s. w. erforderlich ist, um ein anderes zu ersetzen, ohne dass eine Aenderung in dem Kieselsäuregehalte der erfolgenden Schlacke eintritt. Jedes basische Aequivalent giebt mit so vielen Säureäquivalenten, als der Silicirungsgrad der zu bildenden Schlacke angiebt, eine Schlacke von dem verlangten Silicirungsgrade. Für Singulosilikatbildung (Spalten 18 und 19) hat man je ein basisches Aequivalent mit je einem Säureäquivalente zusammenzustellen, für Bisilikatbildung (Spalten 20 und 21) je ein basisches Aequivalent mit je zwei Säureäquivalenten, u. s. f.

Die Tabelle zeigt uns z. B. sofort, dass es ohne Anwendung sonstiger Zuschläge möglich ist, aus den unter 1 und 2 aufgeführten Erzen eine Singulo- wie eine Bisilikatschlacke zu bilden; in beiden Fällen liefert das Liaserz Nr. 1 das Säureäquivalent, der Spatheisenstein Nr. 2 das basische Aequivalent.

Für Singulosilikatschlacke ist ein Aequivalent oder 19,59 Gewichtstheile Liaserz mit einem Aequivalent oder 12,72 Gewichtstheilen Spatheisenstein zu vereinigen.[1])

Beweis.

19,59	Gewichtstheile Liaserz enthalten Sauerstoff der Basen 19,59 × 0,0321	0,629
12,72	Gewichtstheile Spatheisenstein enthalten Sauerstoff der Basen 12,72 × 0,0845	1,075
		1,704
19,59	Gewichtstheile Liaserz enthalten Sauerstoff der Kieselsäure 19,59 × 0,0832	1,629
12,72	Gewichtstheile Spatheisenstein enthalten Sauerstoff der Kieselsäure 12,72 × 0,0059	0,075
		1,704

Für Bisilikatschlacke sind zwei Aequivalente oder 2 × 52,62 = 105,24 Gewichtstheile des Liaserzes mit einem Aequivalente oder 12,27 Gewichtstheilen des Spatheisensteines zu vereinigen.

Beweis.

105,24	Gewichtstheile Liaserz enthalten Sauerstoff der Basen 105,24 × 0,0321	3,378
12,27	Gewichtstheile Spatheisenstein enthalten Sauerstoff der Basen 12,27 × 0,0845	1,036
		4,414
105,24	Gewichtstheile Liaserz enthalten Sauerstoff der Kieselsäure 105,24 × 0,0832	8,756
12,27	Gewichtstheile Spatheisenstein enthalten Sauerstoff der Kieselsäure 12,27 × 0,0059	0,072
		8,828

1) Wenn der Spatheisenstein, wie es gewöhnlich der Fall ist, nicht im rohen, sondern im gerösteten Zustande verhüttet wird, so muss selbstverständlich auch die chemische Zusammensetzung des gerösteten Steines der Berechnung zu Grunde gelegt werden.

Da die Zusammensetzung der einzelnen Erze bekannt und, soweit sie die schlackenbildenden Bestandtheile betrifft, in den Spalten 1 bis 5 enthalten ist, lässt sich leicht auch die gesammte Zusammensetzung der Schlacke berechnen, nachdem man die Beschickung in der soeben erläuterten Weise zusammengestellt hat. Jene Singulosilikatschlacke aus 19,59 Gewichtstheilen Liaserz und 12,72 Gewichtstheilen Spatheisenstein würde z. B. enthalten:

MnO aus dem	Liaserz 19,59 × 0,007 . . .	0,137 Gewichtstheile	
" " "	Spatheisenstein 12,72 × 0,023	0,292 "	0,429 Gewichtstheile
CaO " "	Liaserz 19,59 × 0,000		
" " "	Spatheisenstein 12,72 × 0,159		2,022 "
MgO " "	Liaserz 19,59 × 0,000		
" " "	Spatheisenstein 12,72 × 0,085		1,081 "
Al_2O_3 " "	Liaserz 19,59 × 0,065		1,273 "
" " "	Spatheisenstein 12,72 × 0,000		
SiO_2 " "	Liaserz 19,59 × 0,156	3,057 Gewichtstheile	
" " "	Spatheisenstein 12,72 × 0,0011 .	0,139 "	3,196 "
			8,001 Gewichtstheile

32,31 Gewichtstheile Beschickung aus den beiden Erzsorten liefern mithin 8,001 Gewichtstheile Schlacke, deren Zusammensetzung sich nunmehr ohne Schwierigkeit berechnen lassen würde. Handelt es sich nur darum, die Gesammtmenge der erfolgenden Schlacke, nicht ihre Zusammensetzung, zu ermitteln, so würde man kürzer durch Benutzung der in Spalte 6 enthaltenen Ziffern zum Ziele gelangt sein.

Das Verhältniss der Thonerde zu den übrigen Basen in der Schlacke beträgt 1,273 : 3,532 = 1 : 2,7.[1])

Der Eisengehalt der berechneten Beschickung würde betragen (Spalte 7):

19,59 × 0,428	8,384 Gewichtstheile
12,72 × 0,226	2,874 "
32,31 Gewichtstheile Beschickung enthalten	11,258 Gewichtstheile,
	d. i. 34,8 v. H. Eisen.

Das Ausbringen an Roheisen würde sich wegen dessen Kohlenstoffgehalts etwas höher beziffern und etwa 36 v. H. betragen. Das Verhältniss der erfolgenden Schlackenmenge zum Eisen ist 8,001 : 11,258 = 0,7 : 1 und lässt sich demnach als für den Betrieb günstig bezeichnen.

Geschieht die Verhüttung mit Brennstoffen, welche bedeutende Aschenmengen hinterlassen, so muss man diesen Aschengehalt bei der Berechnung berücksichtigen. Es kann dieses in folgender Weise geschehen. Man ermittelt die Menge des Aschengehaltes, sowie dessen chemische Zusammensetzung und trägt die letztere ebenso wie die der übrigen Bestandtheile der Beschickung in die Tabelle ein (vergl. die oben mitgetheilte Tabelle). Nun veranschlagt man den zur Verhüttung von 100 kg Erzen und Zuschlägen erforderlichen Koksverbrauch, welcher in den meisten Fällen 30 bis 40 kg, durchschnittlich also

1) Ueber die Einflüsse des Thonerdegehaltes der Silikate auf die Schmelzbarkeit der Schlacken vergl. Seite 194.

35 kg beträgt, und berechnet hiernach den Koksverbrauch zur Verhüttung der die berechnete Beschickung bildenden Erz- und Zuschlagsmengen. Aus dem Koksverbrauche ergiebt sich die erfolgende Aschenmenge, und man hat dann nur nöthig, aus der Tabelle zu entnehmen, welche Menge eines entgegengesetzt zusammengesetzten Erzes oder Zuschlages für ihre Verschlackung erforderlich ist.

Es möge z. B. die Verhüttung der oben für Singulosilikatschlacke berechneten, aus 19,59 Gewichtstheilen Liaserz und 12,72 Gewichtstheilen Spatheisenstein bestehenden Beschickung mit Koks bewirkt werden, deren Aschengehalt 10 v. H. beträgt, und die chemische Zusammensetzung der Koksasche entspreche den in Reihe 5 der Tabelle enthaltenen Ziffern. 32,21 Gewichtstheile Beschickung werden zu ihrer Verhüttung etwa 12 Gewichtstheile Koks erfordern, welche 1,2 Gewichtstheile Asche liefern. Bei Singulosilikatbildung sind 7,2 Gewichtstheile Koksasche ein Säureäquivalent (Spalte 19), 1,2 Gewichtstheile Koksasche mithin $^1/_6$ Aequivalent. Es ist also $^1/_6$ basisches Aequivalent zur Verschlackung der Koksasche erforderlich; benutzt man hierzu wiederum den Spatheisenstein, so müssten noch $^1/_6 \times 12{,}72 = 2{,}12$ Gewichtstheile Spatheisenstein mehr, als oben berechnet wurde, in die Beschickung geführt werden, und diese besteht dann aus

19,59 Gewichtstheilen Liaserz,
14,84 „ Spatheisenstein.

Hält man es aus irgend einem Grunde für zweckmässiger, die Verschlackung nicht durch Vermehrung des Spatheisensteins, sondern durch einen Zuschlag von Kalkstein zu bewirken, dessen Zusammensetzung in der Reihe 4 aufgeführt ist, so müssten, da dessen Aequivalent für Singulosilikatbildung = 7,31 ist (Spalte 18), $^1/_6 \times 7{,}31 = 1{,}22$ Gewichtstheile Kalkstein der Beschickung zugeschlagen werden.

Will man auch den Schwefelgehalt der mineralischen Brennstoffe berücksichtigen, welcher zum grossen Theile in die Schlacke geht und hierbei einen Theil des Calciumgehalts bindet, so kann man hierfür folgenden Weg einschlagen. 1 Theil Schwefel erfordert 1,25 Theile Calcium, welche 1,75 Theilen Kalkerde mit 0,50 Theilen Sauerstoff in der Beschickung entsprechen. Diese 1,75 Theile Kalkerde müssen durch Vermehrung der basischen Bestandtheile gedeckt werden. Enthalten z. B. die in dem soeben berechneten Beispiele erforderlichen 12 Gewichtstheile Koks 2 v. H. Schwefel, so betrüge ihr Gesammtschwefelgehalt 0,024 Gewichtstheile, und um diesen zu binden, müsste die Beschickung so viel basische Bestandtheile mehr, als berechnet worden war, enthalten, dass dadurch $0{,}024 \times 0{,}50 = 0{,}012$ Gewichtstheile Sauerstoff zugeführt würden. Die Menge des berechneten Spatheisensteins würde sich demnach in diesem Falle noch um $0{,}012 \times 12{,}72 = 0{,}15$ Gewichtstheile vermehren. Hierbei ist angenommen, dass der Schwefelgehalt der Koks vollständig in die Schlacke geht, was jedoch nicht der Fall ist; dagegen pflegen auch die Erze einen kleineren oder grösseren Schwefelgehalt zu liefern. Immerhin sind, wie man sieht, auch die durch einen verhältnissmässig reichlichen Schwefelgehalt bedingten Aenderungen in der Zusammensetzung der Beschickung nicht sehr erheblich und können meistens vernachlässigt werden.

Ueber das Verhältniss des Kalkerdegehaltes zum Magnesiagehalte der erfolgenden Schlacke, welches für die Schmelzbarkeit nach S. 194 bedeutungsvoll ist, kann man sich ohne Schwierigkeit Rechenschaft geben, sobald die Beschickung berechnet worden ist; ebenso über den Phosphorgehalt des erfolgenden Roheisens. Man legt hier am einfachsten die Annahme zu Grunde, dass der Phosphorgehalt der Erze vollständig in das Eisen übergehe, was wenigstens annähernd zutrifft.

In derselben Weise, wie in dem vorstehenden Beispiele eine Beschickung aus nur zwei Erzen berechnet wurde, lässt sich eine Beschickung aus beliebig vielen Erzen und Zuschlägen zusammensetzen, sofern man die Regel befolgt, dass die Summe sämmtlicher Säureäquivalente sich zu der Summe sämmtlicher basischen Aequivalente verhält, wie es die durch den Silicirungsgrad der zu bildenden Schlacke angegebene Verhältnisszahl vorschreibt. Je ein basisches Aequivalent muss bei Singulosilikatbildung durch ein, bei Bisilikatbildung durch zwei, bei Zweidrittelsilikatbildung durch $^2/_3$ Säureäquivalente gedeckt werden, u. s. f. Treten hierbei mehrere basische oder mehrere saure Schmelzmaterialien neben einander auf, so muss ihr zweckmässigstes gegenseitiges Verhältniss unter einander nach ihren sonstigen Eigenthümlichkeiten bemessen werden. Hierher gehört ihr verschiedener Thonerdegehalt in Rücksicht auf den Umstand, dass der Thonerdegehalt der Schlacke weder zu beträchtlich noch zu gering ausfallen darf, wenn sie nicht zu strengflüssig werden soll; dasselbe gilt hinsichtlich des Verhältnisses der Magnesia zur Kalkerde. Sodann kommt der Eisengehalt der berechneten Beschickung in Betracht, sowie das Verhältniss der erfolgenden Schlacke zu dem Roheisen; ferner die Menge der fremden Bestandtheile — Phosphor, Mangan, unter Umständen Schwefel —, welche dem Roheisen aus dem einen oder andern Erze zugeführt werden und seine Eigenschaften beeinflussen. Endlich darf auch, wie schon erwähnt wurde, das Preisverhältniss der einzelnen zur Verhüttung stehenden Erze und Zuschläge nicht unberücksichtigt bleiben, von welchem zum grossen Theil die Erzeugungskosten des erfolgenden Roheisens abhängen.

Es liege z. B. die Aufgabe vor, aus dem Liaserze (Nr. 1) und dem Rasenerze (Nr. 3) unter Zuschlag von Kalkstein eine Beschickung für Bisilikatschlacke zusammenzustellen, in welcher das Verhältniss der Thonerde zur Kalkerde nebst Magnesia nicht mehr als höchstens $^1/_3$ beträgt. Auch von dem Spatheisenstein kann, sofern es sich als zweckmässig herausstellen sollte, eine entsprechende Menge in Mitverwendung genommen werden.

Für Bisilikatbildung muss je ein basisches Aequivalent zwei Säureäquivalenten gegenüberstehen. In dem vorliegenden Falle treten, wie die Spalten 20 und 21 nachweisen, das Liaserz und das Rasenerz als Säureäquivalente, der Kalkstein und der Spatheisenstein als basische Aequivalente auf; ohne Zusatz eines der beiden letztgenannten Materialien würde mithin die Verhüttung der Lias- und Rasenerze mit Bisilikatbildung überhaupt nicht möglich sein.

Stellt man zunächst versuchsweise eine Beschickung ohne Spatheisenstein aus je 1 Aequivalent der beiden Erze zusammen, so besteht sie aus:

1 Aequivalent Liaserz	 52,62	Gewichtstheile
1 „ Rasenerz	 30,30	„
2 Aequivalente		
1 Aequivalent Kalkstein	 7,02	„
	89,94	Gewichtstheile.

Der Gehalt an Al_2O_3 sowie an $CaO + MgO$ in dieser Beschickung beträgt:

			Al_2O_3	CaO, MgO
52,62 Gewichtstheile	Liaserz	enthalten	3,42 Gewichtstheile	— Gewichtstheile
39,30 „	Rasenerz	„	0,30 „	0,36 „
7,02 „	Kalkstein	„	— „	3,63 „
			3,72 Gewichtstheile	3,99 Gewichtstheile.

Das Verhältniss der Thonerde zur Kalkerde und Magnesia ist also viel zu hoch. Die Menge des Liaserzes muss bedeutend abgemindert, die des Rasenerzes erhöht werden.

Nimmt man von ersterem nur 0,2 Aequivalent, so besteht nunmehr die Beschickung aus:

				Al_2O_3	CaO, Mg
0,2 Aequiv.	Liaserz	= 10,52 Gewichtsth.	mit	0,68 Gewichtsth.	— Gewichtsth.
1,8 „	Rasenerz	= 54,54 „	„	0,54 „	0,65 „
2,0 Aequiv.					
1,0 „	Kalkstein	= 7,02 „	„	— „	3,63 „
		72,08 Gewichtsth.	mit	1,22 Gewichtsth.,	4,28 Gewichtsth.

und es hat sich demnach jenes Verhältniss auf 1 : 3,5 ermässigt.

Der Eisengehalt dieser zuletzt berechneten Beschickung würde betragen:

10,52 Gewichtstheile	Liaserz	enthalten Fe . .	4,50 Gewichtstheile
54,54 „	Rasenerz	„ „ . .	21,97 „
7,02 „	Kalkstein	„ „ . .	— „
72,08 Gewichtstheile	Beschickung	enthalten Fe	26,47 Gewichtstheile
		oder etwa 36,7 v. H.	

Unter Berücksichtigung des in das Eisen übergehenden Kohlenstoffgehalts ist also ein Roheisenausbringen von etwa 38 v. H. zu erwarten, und die Beschickung würde in dieser Beziehung als vollkommen schmelzwürdig erscheinen, ohne dass eine Anreicherung des Eisengehaltes — etwa durch Ersatz des Kalksteines durch Spatheisenstein — nothwendig erschiene. Eine andere Veranlassung dazu könnte jedoch der Umstand sein, dass jene Lias- und Rasenerze reich an Phosphor wären und eine Abminderung des Phosphorgehalts als nothwendig oder wünschenswerth erschiene. Das Liaserz möge 0,5 v. H. Phosphor, das Rasenerz 0,6 v. H. Phosphor enthalten. Der Phosphorgehalt des erfolgenden Roheisens würde demnach betragen:

10,52 Gewichtstheile	Liaserz	liefern Phosphor . .	0,052 Gewichtstheile
54,54 „	Rasenerz	„ „ . .	0,327 „
			0,379 Gewichtstheile.

Die 0,379 Gewichtstheile Phosphor werden von 26,47 Gewichtstheilen Eisen, welche der oben angestellten Berechnung zufolge in den Erzen enthalten sind, aufgenommen; der Gehalt des erfolgenden Roheisens an Phosphor wird mithin etwa 1,4 v. H. sein.

Der Spatheisenstein sei frei von Phosphor. Ersetzt man nun versuchsweise den gesammten Zuschlagskalkstein durch eine gleich-

werthige Menge Spatheisenstein, so erhöht man das Eisenausbringen der Beschickung und erniedrigt auf diese Weise den Phosphorgehalt des erfolgenden Eisens. Man erhält alsdann folgende neue Beschickung:

				Al_2O_3	CaO, Mg	Fe	P
0,2 Aequiv.	Liaserz	= 10,52	Gewichtstheile mit	0,68	—	4,50	0,052
1,8 „	Rasenerz	= 54,54	„ „	0,54	0,65	21,97	0,327
1 „	Spatheisenstein	= 12,27	„ „	—	2,99	2,77	—
Zusammen	Beschickung	77,33	Gewichtstheile mit	1,22	3,64	29,24	0,379

Verhältniss der Thonerde zu Kalk und Magnesia = 1 : 3,
Eisengehalt der Beschickung 37,8 v. H.,
Phosphorgehalt des Eisens etwa 1,3 v. H.

Die Abminderung des Phosphorgehaltes würde mithin in diesem Falle nicht erheblich sein. Als Giessereiroheisen aber wäre das Erzeugniss immerhin benutzbar, sofern der Mangangehalt nicht zu hoch ausfällt. Wenn der in der Tabelle auf Seite 571 angegebene Manganoxydulgehalt die Hälfte des gesammten im Erze anwesenden Gehaltes ausmacht und die andere Hälfte reducirt in das Roheisen übergeht, so würde dieses bei Verhüttung der Beschickung ohne Spatheisenstein etwa 0,5 v. H., bei Verhüttung der Beschickung mit Spatheisenstein etwa 1,4 v. H. Mangan enthalten. Das erstere, manganärmere Roheisen würde für die meisten Zwecke der Giesserei den Vorzug verdienen.

Es bleibt dann noch die Frage zu beantworten, wie sich die Kosten der beiden berechneten Beschickungen gegen einander verhalten. Ein Vergleich in dieser Beziehung ist nur möglich, wenn man diese Kosten nicht auf die Gewichtseinheit der Beschickung, sondern auf die Gewichtseinheit des in der Beschickung enthaltenen Eisens bezieht. Beispielsweise mögen die Kosten der verschiedenen Erze einschliesslich der Fracht nach der Hütte folgende sein:

für 1000 kg	Liaserz	9 ℳ
„ 1000 „	Rasenerz	6 „
„ 1000 „	Spatheisenstein	8 „
„ 1000 „	Kalkstein	4 „

so kosten bei der zuerst berechneten Beschickung ohne Spatheisenstein:

10,52 kg	Liaserz	mit	4,50 kg Eisen	. . .	0,095 ℳ
54,54 „	Rasenerz	„	21,97 „ „	. . .	0,327 „
7,02 „	Kalkstein	„	— „ „	. . .	0,028 „
			26,47 kg Eisen	. . .	0,450 ℳ.

26,47 kg Eisen in der Beschickung kosten 0,450 ℳ, also 1000 kg Eisen 17 ℳ

Bei der zweiten Beschickung mit Spatheisenstein würden die Kosten betragen:

10,52 kg	Liaserz	mit	4,50 kg Eisen	.	0,095 ℳ
54,54 „	Rasenerz	„	21,97 „ „	.	0,327 „
12,27 „	Spatheisenstein	„	2,77 „ „	.	0,098 „
			29,24 kg Eisen	.	0,520 ℳ

also würden 1000 kg Eisen in der Beschickung 17 ℳ 78 ₰. kosten, d. i. 78 ₰. mehr als in der ersten phosphorreicheren Beschickung, und um annähernd ebensoviel würde sich der Selbstkostenpreis des erfolgenden Roheisens erhöhen. Man würde in diesem Falle von der Verwendung des Spatheisensteins voraussichtlich absehen.

Eine solche Bisilikatschlacke, wie hier berechnet wurde, ist nur bei Holzkohlenbetrieb möglich. Bei dem Betriebe mit Koks müsste ein Singulosilikat oder eine noch basischere Schlacke gebildet und der Aschengehalt der Koks berücksichtigt werden. Der hierbei einzuschlagende Weg ist durch die schon gegebenen Beispiele genügend gekennzeichnet.

Wo eine Tabelle mit den sämmtlichen für die Verhüttung bestimmten Schmelzmaterialien einmal berechnet worden ist, lässt sich, wie die Beispiele beweisen, in kurzer Zeit eine Beschickung für eine vorgeschriebene Zusammensetzung der Schlacke ausmitteln; wo aber die Beschaffenheit der zu gattirenden Erze es überhaupt unmöglich macht, diese oder jene Schlacke zu bilden, giebt die Tabelle sofort den Nachweis darüber.

Ebenso leicht als die Berechnung neuer Beschickungen lassen sich Aenderungen vorhandener Beschickungen mit Hülfe der Tabelle vornehmen, wenn z. B. der Vorrath einer Erzsorte zu Ende geht, wenn ein neues Erz in die Beschickung eingeschaltet werden soll, wenn der Phosphorgehalt abgemindert oder der Mangangehalt erhöht werden soll, und dergleichen mehr. Im Betriebe kommt dieser Fall noch häufiger vor als die Berechnung einer neuen Beschickung, und die Lösung dieser Aufgabe ist insofern leichter, da hier gewöhnlich bereits eine Schlacke von bewährter Zusammensetzung vorhanden ist und es also nur darauf ankommt, die Zusammensetzung der Beschickung zu ändern, ohne dass die Zusammensetzung der Schlacke wesentliche Aenderungen erfährt. In allen derartigen Fällen bleibt der Silicirungsgrad der Schlacke derselbe, sofern man die verschiedenen Erze oder Zuschläge in dem Gewichtsverhältnisse, welches ihre stöchiometrischen Aequivalente angeben, sich gegenseitig vertreten lässt. 19,59 Gewichtstheile Liaserz sind bei Singulosilikatbildung, wie Spalte 19 der mitgetheilten Tabelle ohne Weiteres angiebt, gleichwerthig mit 32,92 Gewichtstheilen Rasenerz; enthält also eine Beschickung 25 Gewichtstheile Liaserz, welche durch Rasenerz ersetzt werden sollen, so würden dazu $\frac{23,92}{19,59} \times 25 = 30,5$ Gewichtstheile des letzteren Erzes erforderlich sein. Der Silicirungsgrad der Schlacke würde in diesem Falle unverändert bleiben; der Thonerdegehalt der Beschickung aber würde, wie sich leicht erkennen lässt, bei dem Ersatze des Liaserzes durch Rasenerz geringer ausfallen. Soll dieses vermieden werden, so würde ein Zusatz eines thonerdereicheren Materials, etwa Thonschiefers, erforderlich sein, und sobald dessen Zusammensetzung und Aequivalentzahl ermittelt worden ist, würde die Tabelle wiederum erkennen lassen, in welcher Weise ein solcher Zusatz sich ermöglichen lässt.[1]

Platz's vereinfachtes Verfahren. Mrázeks vorstehend besprochene Berechnungsweise der Beschickung wird besonders durch die

1) Ueber ein von Balling vorgeschlagenes Verfahren zur Vereinfachung der Berechnung durch Aufzeichnung rechtwinkliger Dreiecke, deren Kathetenlängen dem Verhältnisse zwischen Kieselsäure und Base entsprechen, vergl. Carl A. M. Balling, Compendium der metallurgischen Chemie, Bonn 1882, Seite 99; auch Th. Beckert, Leitfaden zur Eisenhüttenkunde, Berlin 1885, Seite 192.

erforderliche Berechnung der Sauerstoffgehalte und der erst aus diesen sich ergebenden stöchiometrischen Aequivalente umständlich. Die Berechnung wird einfacher, wenn man davon absieht, eine bestimmte Silicirungsstufe zu bilden und sich, wie Platz vorschlägt,[1]) darauf beschränkt, ein bestimmtes gegenseitiges Gewichtsverhältniss zwischen Kieselsäure nebst Thonerde einerseits und den Basen von der allgemeinen Formel RO (CaO, MgO, MnO, FeO, auch BaO, SrO) herzustellen. Dass diese Basen sich keineswegs nach dem Verhältnisse ihrer Molekülgewichte in den Silikaten gegenseitig ersetzen können, ohne dass die Schmelzbarkeit der Silikate sich ändert, folgt aus den über die Schmelzbarkeit der Schlacken gegebenen Mittheilungen (Seite 189 bis 197); stellt man sich auf den Boden dieser Thatsache, so fällt auch die Nothwendigkeit weg, die Silicirungsstufe einer Schlacke als Ausgangspunkt für die Berechnung der Beschickung zu wählen. Dass die Kieselsäure und die Thonerde einer Schlacke sich wenigstens insofern zu ersetzen vermögen, als mit Zunahme des Thonerdegehaltes der Kieselsäuregehalt niedriger werden muss, wenn verhältnissmässig leicht schmelzbare Schlacken entstehen sollen, ergiebt sich aus den Schaulinien der Fig. 57 auf Seite 195. Achtet man also bei der Zusammenstellung der Beschickung darauf, dass auch das Verhältniss zwischen Kieselsäure und Thonerde sich innerhalb derjenigen Grenzen bewege, welche durch die Zusammensetzung vorhandener Schlacken von bewährter Schmelzbarkeit gegeben sind, so ist nicht zu bezweifeln, dass man auch auf diesem einfacheren Wege zu einem befriedigenden Ergebnisse gelangen kann.

Bei der Berechnung bezieht man das Verhältniss der Basen (einschliesslich des an Schwefel gebundenen Calciums) zur Kieselsäure nebst Thonerde in der zu bildenden Schlacke auf 100 Gewichtstheile. Enthält z. B. eine Schlacke, welche als Vorbild für die anzustrebende Zusammensetzung dienen soll, 48,5 v. H. Kieselsäure und Thonerde, 47,5 v. H. Basen, 4 v. H. Schwefelcalcium, so würden für diese 4 Theile Schwefelcalcium 3 Theile Kalkerde einzusetzen sein, welche ungefähr die gleiche Menge Ca enthalten. In 100 Theilen der Sauerstoffverbindungen (einschliesslich jener 3 Theile Kalkerde) sind demnach 49 Theile Kieselsäure nebst Thonerde und 51 Theile Basen enthalten. Wenn nun beispielsweise das in der Tabelle auf Seite 571 unter 1 aufgeführte Liaserz mit dem unter 4 aufgeführten Kalkstein beschickt und dabei eine Schlacke von der angegebenen Zusammensetzung gebildet werden soll, so kann die Rechnung folgendermaassen ausgeführt werden:

100 Theile Liaserz enthalten an schlackengebenden Bestandtheilen[2]) nach Maassgabe der Tabelle

SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
15,6	6,5	0,7	—	—

also $SiO_2 + Al_2O_3 = 22{,}1$ Gewichtstheile.

1) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 2.

2) Von dem Manganoxydulgehalte des Erzes wird als schlackenbildend auch bei dieser Berechnungsweise nur ein Drittel oder weniger eingestellt.

Um das Verhältniss $\frac{\text{Basen}}{SiO_2 + Al_2O_3} = \frac{51}{49}$ zu bilden, müssen jenem Gehalte an ($SiO_2 + Al_2O_3$) $22{,}1 \frac{51}{49} = 23{,}0$ Gewichtstheile Basen gegenübergestellt werden, von welchen das Liaserz selbst nur 0,7 Gewichtstheile liefert, so dass 22,3 Gewichtstheile durch den Kalksteinzuschlag beschafft werden müssen.

100 Theile Kalkstein enthalten

SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
2,1	—	—	51,8	—

Von dem Kalkgehalte werden durch die anwesende Kieselsäure selbst $\frac{51}{49} \times 2{,}1 = 2{,}2$ Gewichtstheile gebunden; verfügbar bleiben $51{,}8 - 2{,}2 = 49{,}6$ Gewichtstheile. 100 Gewichtstheile Kalkstein führen demnach 49,6 Gewichtstheile verfügbare Basen zu; zur Beschickung von 100 Gewichtstheilen Liaserz waren 22,3 Gewichtstheile Basen erforderlich, also müssen $\frac{100 \times 22{,}3}{49{,}6} = 45$ Gewichtstheile Kalkstein zugeschlagen werden.

Diese Beschickung aus 100 Theilen Liaserz mit 45 Gewichtstheilen Kalkstein möge nun mit Koks verhüttet werden, deren Aschengehalt 10 v. H. beträgt und die in der obigen Tabelle unter 5 angegebene Zusammensetzung besitzt. Zum Verschmelzen der 145 Gewichtstheile Beschickung würden etwa 60 Gewichtstheile Koks mit etwa 6 Gewichtstheilen Asche erforderlich sein. Diese 6 Gewichtstheile Asche würden in die Beschickung führen

SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
3,0	0,9	—	1,2	—

also $SiO_2 + Al_2O_3 = 3{,}9$ Gewichtstheile. Zur Verschlackung sind $3{,}9 \frac{51}{49} = 4{,}0$ Gewichtstheile Basen erforderlich, von welchen die Asche selbst 1,2 Gewichtstheile liefert, so dass 2,8 zu beschaffen bleiben. Hierfür sind noch $\frac{100 \times 2{,}8}{49{,}6} = 5{,}6$ oder rund 6 Gewichtstheile Kalkstein erforderlich. Die Beschickung besteht demnach aus 100 Theilen Liaserz mit 51 Theilen Kalkstein. Die erfolgende Schlacke enthält:

	SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
aus 100 Theilen Liaserz . .	15,6	6,5	0,7	—	—
„ 6 „ Koksasche .	3,0	0,9	—	1,2	—
„ 51 „ Kalkstein .	1,0	—	—	26,4	—
	19,6	7,4	0,7	27,6	—

oder in Hunderttheilen

SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
35,4	13,4	1,3	49,9	—

Der Silicirungsgrad der Schlacke entspricht einem 0,9 Silikat. Der Eisengehalt der Beschickung beträgt nur etwa 29 v. H.,[1]) das Ver-

1) 100 Theile Liaserz enthalten nach der Tabelle 42,8 Theile Eisen, 6 Theile Koksasche 0,6 Theile Eisen. Diese 43,4 Theile Eisen sind in 151 Theilen Erz nebst Zu-

hältniss der erfolgenden Schlacke zum Roheisen, sofern man das Ausbringen an letzterem zu 31 v. H. des Gewichts der Beschickung annimmt, $\frac{36{,}6}{31} = \frac{1{,}2}{1}$, ist also nicht günstig. Der Zusatz eines an Kieselsäure und Thonerde ärmeren Erzes würde in Rücksicht hierauf zweckmässig sein.

Hat man ein Erz zur Verfügung, welches einen Ueberschuss von Basen besitzt, also den Kalkstein vertritt, so wird die Rechnung in der nämlichen Weise durchgeführt. Die Zusammenstellung einer Beschickung aus einer grösseren Zahl von Erzen lässt sich erleichtern, wenn man sie zu einer Tabelle vereinigt, welche für eine Schlacke mit bestimmtem Verhältnisse der Basen zur Kieselsäure und Thonerde die erforderliche Basenzuschlagsmenge oder den verfügbaren Basengehalt jedes Erzes und Zuschlages enthält. Für die auf Seite 571 aufgeführten Erze und Zuschläge könnte diese Tabelle z. B. nachstehende Einrichtung erhalten:

Benennung der Erze, Zuschläge u. s. w.	Schlackenbildende Bestandtheile in 100 Gewichtstheilen der Erze, Zuschläge und Asche							Für Bildung einer Schlacke mit dem Verhältnisse $\frac{\text{Basen}}{SiO_2 + Al_2O_3} = \frac{51}{49}$ für 100 Gewichtstheile Erz Gewichtstheile	
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	zusammen	Fe	erforderlicher Zuschlag an Basen	verfügbarer Ueberschuss an Basen
1. Liaserz . . .	15,6	6,5	—	—	0,7	22,8	42,8	22,3	—
2. Spatheisenstein .	1,1	—	15,9	8,5	2,3	27,8	22,6	—	25,5
3. Rasenerz . . .	9,5	1,0	1,2	—	0,3	12,0	40,3	9,4	—
4. Kalkstein . . .	2,1	—	51,8	—	—	53,9	—	—	49,6
5. Koksasche . .	50,0	15,0	20,0	—	—	85,0	10,0	46,0	—

Wenn beispielsweise die Aufgabe vorliegt, aus etwa 40 Theilen Liaserz, 40 Theilen Rasenerz und 20 Theilen Spatheisenstein mit dem erforderlichen Kalksteinzuschlage eine Schlacke von der angegebenen Zusammensetzung zu bilden, so stellt sich die Rechnung folgendermaassen:

40 Theile Liaserz erfordern an Basen $40 \frac{22{,}3}{100} = 8{,}9$ Theile

40 „ Rasenerz „ „ „ $40 \frac{9{,}4}{100} = 3{,}7$ „

Zusammen 12,6 Theile

20 „ Spath liefern an verfügbaren Basen $20 \frac{25{,}5}{100}$. . 5,1 „

Demnach bleibt noch als Basenbedarf zu decken 7,5 Theile

und hierfür sind an Kalkstein erforderlich $\frac{100 \times 7{,}5}{49{,}6} = 15{,}1$ Theile.

schlagskalkstein enthalten; also kommen auf 100 Theile Beschickung 29 Theile Eisen. Ebenso ergiebt sich, dass aus 151 Gewichtstheilen Erz nebst Zuschlagskalkstein 55,3 Gewichtstheile Schlacke, also aus 100 Gewichtstheilen Beschickung 36,6 Gewichtstheile Schlacke erfolgen.

Zum Schmelzen dieser Beschickung von zusammen etwa 115 Gewichtstheilen werden ungefähr 46 Gewichtstheile Koks mit 10 v. H. ihres Eigengewichtes, also 4,6 Gewichtstheilen Asche erforderlich sein, welche nach Maassgabe der Tabelle $4{,}6 \frac{46}{100} = 2{,}1$ Gewichtstheile Basen für ihre Verschlackung bedürfen. Für die Beschaffung dieser 2,1 Gewichtstheile Basen sind fernere $\frac{100 \times 2{,}1}{49{,}6} = 4{,}2$ Gewichtstheile Kalkstein erforderlich, so dass der gesammte Zuschlag an Kalkstein 19,3 Gewichtstheile beträgt. Die erfolgende Schlacke besitzt demnach folgende Zusammensetzung:

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO
aus 40 Theilen Liaserz . . .	6,2	2,6	—	—	0,3
„ 40 „ Rasenerz . . .	3,8	0,4	0,5	—	0,1
„ 20 „ Spath	0,2	—	3,2	1,7	0,5
„ 19,3 „ Kalkstein . . .	0,4	—	10,0	—	—
„ 4,6 „ Asche	2,3	0,7	0,9	—	—
Zusammen	12,9	3,7	14,6	1,7	0,9
oder in 100 Theilen Schlacke	38,1	10,9	43,2	5,0	2,8
	49,0		51,0		

5. Die Berechnung des Hochofenschmelzganges und die Wärmebilanz.

Sofern man nicht beabsichtigt, den Hochofenschmelzgang in seinen einzelnen Abschnitten zu verfolgen, sondern nur ein Bild von den Umwandlungen, welche die Schmelzmaterialien im Grossen und Ganzen erfuhren, und zumal Auskunft über die Verwendung erhalten will, welche der Brennstoff im Ofen fand, kann man von der mühseligen und nicht immer zuverlässigen Untersuchung der Gase und Erze aus verschiedenen Stellen des Hochofens absehen; eine Gegenüberstellung der Zusammensetzung der Schmelzstoffe einerseits und der Enderzeugnisse andererseits unter Berücksichtigung der Gewichtsverhältnisse, unter welchen jene dem Hochofen zugetheilt und diese von ihm geliefert wurden, genügt hierfür. Die sämmtlichen Bestandtheile der Rohstoffe müssen in den Erzeugnissen sich wiederfinden; aber die Form, in welcher sie erscheinen, besonders das Verhältniss der Kohlensäure zum Kohlenoxyd in den Gichtgasen, ist anders, je nachdem die Reduction der Erze in reicherem oder weniger reichem Maasse durch festen Kohlenstoff statt durch Kohlenoxyd stattfand, oder — was hinsichtlich der Ausnutzung des Brennstoffs damit gleichbedeutend ist — je nachdem grössere oder geringere Mengen der bei der Reduction der Erze entstandenen Kohlensäure durch Vergasung von Kohle wieder zu Kohlenoxyd reducirt wurden. Wie viel des in den Gichtgasen enthaltenen Kohlenoxydes dieser Quelle entstammt, und wie viel vor den Formen durch den Gebläsewind gebildet wurde, lässt sich berechnen, wenn jene Unterlagen bekannt sind.

Für die Ausführung der Berechnung ist es erforderlich, dass die Zusammensetzung der Gichtgase in Gewichtstheilen statt, wie sonst üblich, in Raumtheilen angegeben werde. Eine Umrechnung einer nach Raumtheilen ausgeführten Analyse in Gewichtstheile ist unschwer zu bewirken.

Beispiel der Rechnung.[1]) In dem mit Holzkohlen betriebenen Hochofen Nr. 2 zu Vordernberg wurde weisses, für den Puddelbetrieb bestimmtes Roheisen dargestellt, und der Verbrauch an Schmelzmaterialien zur Darstellung von 100 kg Roheisen betrug durchschnittlich:

Erz	212,69 kg
Zuschlagthonschiefer . . .	13,90 „
Holzkohle	74,00 „

Die Erze wurden zu etwa ein Drittel im ungerösteten, zu zwei Dritteln im gerösteten Zustande verwendet, und die Zusammensetzung des Erzgemisches (Möllers) ohne den Zuschlagthonschiefer war folgende:

	in Hunderttheilen:	in der zur Darstellung von 100 kg Roheisen erforderlichen Erzmenge (212,69 kg):
Fe_2O_3	54,93 v. H.	116,82 kg
FeO	8,48 „	18,04 „
CaO	9,58 „	20,37 „
Mn_3O_4	4,97 „	10,57 „
Al_2O_3	3,00 „	6,38 „
MgO	1,83 „	3,89 „
SiO_2	4,92 „	10,46 „
H_2O	4,48 „	9,52 „
CO_2	7,81 „ (mit 2,13 v. H. C)	16,64 „ (mit 4,54 kg C)
	100,00 v. H.	212,69 kg.

Zusammensetzung des Zuschlagsthonschiefers

	in Hunderttheilen:	in der zur Darstellung von 100 kg Roheisen erforderlichen Menge (13,90 kg):
SiO_2	78,38 v. H.	10,90 kg
Al_2O_3	13,99 „	1,95 „
CaO	0,53 „	0,07 „
Fe_2O_3	3,90 „	0,54 „
H_2O	3,20 „	0,44 „
	100,00 v. H.	13,90 kg.

Zusammensetzung der Holzkohlen

	in Hunderttheilen:	in der zur Darstellung von 100 kg Roheisen erforderlichen Menge (74 kg):
C	85,10 v. H.	62,97 kg
CO_2	3,26 „ (mit 0,89 v. H. C)	2,41 „ (mit 0,66 kg C)
CO	1,36 „ („ 0,58 „ C)	1,00 „ („ 0,43 „ C)
CH_4	0,70 „ („ 0,52 „ C)	0,52 „ („ 0,38 „ C)
H	0,07 „	0,05 „
N	0,51 „	0,39 „
H_2O	7,00 „	5,18 „
Asche	2,00 „	1,48 „
	100,00	74,00 kg

Eine Zusammenstellung der sämmtlichen dem Hochofen für 100 kg dargestellten Roheisens zugeführten Körper ergiebt also:

Fe_2O_3 aus den Erzen	116,82 kg		
„ „ „ dem Thonschiefer . .	0,54 „		
	117,36 kg	mit 82,15 kg Fe,	35,21 kg O
FeO aus den Erzen	18,04 kg	„ 14,03 „ „	4,01 „ O
		96,18 kg Fe,	39,22 kg O

1) Nach F. Friderici, Oesterr. Zeitschr. für Berg- u. Hüttenwesen 1882, S 2.

SiO_2 aus den Erzen	10,46 kg		
„ „ „ dem Thonschiefer . .	10,90 „		
	21,36 kg	mit 9,98 kg Si,	11,38 kg O
Al_2O_3 aus den Erzen	6,38 kg		
„ „ „ dem Thonschiefer .	1,95 „		
	8,33 kg		
CaO aus den Erzen	20,37 kg		
„ „ „ dem Thonschiefer . .	0,07 „		
	20,44 kg		
MgO aus den Erzen	3,89 kg		
Mn_3O_4 aus den Erzen	10,57 „	mit 7,62 kg Mn,	2,95 kg O
Alkalien aus den Holzkohlen .	1,48 kg[1]		
H_2O aus den Erzen	9,52 kg		
„ „ „ dem Thonschiefer . .	0,44 „		
„ „ „ der Holzkohle . . .	5,18 „		
	15,14 kg		
CO_2 aus den Erzen	16,64 kg	mit 4,54 kg C	
„ „ der Holzkohle . . .	2,41 „	„ 0,66 „ C	
	19,05 kg	mit 5,20 kg C,	13,85 kg O
CO aus der Holzkohle . . .	1,00 kg	mit 0,43 „ C,	0,57 „ O
CH_4 „ „ „ . . .	0,52 „	„ 0,38 „ C,	
C „ „ „		62,97 „ C	
		68,98 kg C	
H aus den Holzkohlen . . .	0,05 kg		
N „ „ „ . . .	0,39 „		

Diese sämmtlichen Körper müssen sich in dem Roheisen, der Schlacke und den Gichtgasen wiederfinden.

Das **Roheisen** enthielt einer angestellten Analyse zufolge:

C . .	3,122	
Si . .	0,152	(entstanden aus der Reduction von 0,33 kg SiO_2)
Mn . .	2,220	(entstanden aus der Reduction von 3,08 kg Mn_3O_4)
Fe . .	94,506	
	100,000	

In die **Schlacke** gehen demnach folgende Bestandtheile:

	Insgesammt für 100 kg Roheisen		in Hunderttheilen:
FeO . . .	2,14 kg	(metallisches Eisen 96,18 — 94,506 = 1,67 kg nebst 0,47 kg O)	3,32
MnO . .	7,07 „	(10,57 — 3,08 = 7,49 kg Mn_3O_4 entsprechen 7,07 kg MnO mit 1,59 kg O).	10,98
SiO_2 . .	21,03 „	mit 11,21 kg O	32,76
Al_2O_3 . .	8,33 „		12,93
CaO . .	20,44 „		31,75
MgO . .	3,89 „		6,04
Alkalien .	1,48 „		2,22
	64,38 kg		100,00

Die berechnete Zusammensetzung der Schlacke und das Verhältniss der Schlackenmenge zum Roheisen (64,38 : 100) wurde durch Analyse und durch Wägen der erforderlichen Schlacke geprüft und als gut übereinstimmend mit der Wirklichkeit befunden.

1) Bei der Geringfügigkeit des Aschengehaltes ist dieser vollständig als Alkalien in Rechnung gestellt, während die Holzkohlenasche in Wirklichkeit neben den Alkalien Kohlensäure und kleine Mengen anderer Körper enthält.

Die Untersuchung der Gichtgase ergab in Gewichtstheilen (unter Vernachlässigung des Wassergehaltes):

CO_2	22,37 v. H.	mit	6,10 v. H. C
CO	23,84 „	„	10,22 „ „
CH_4	0,37 „	„	0,28 „ „
H	0,09 „		
N	53,33 „		
	100,00 v. H.	mit	16,60 v. H. C.

Da für 100 kg darzustellenden Roheisens der oben gegebenen Zusammenstellung zufolge der Hochofen insgesammt 68,98 kg Kohlenstoff erhält (aus der Holzkohle und dem Kohlensäuregehalt der Erze), von diesem aber der mitgetheilten Roheisenzusammensetzung zufolge 3,122 kg durch das Roheisen aufgenommen werden, so finden sich in den Gasen 68,98 — 3,122 = 65,858 kg Kohlenstoff wieder, und die Menge der Gichtgase für je 100 kg Roheisen beträgt demnach:

CO_2 . . .	88,76 kg	mit 24,22 kg C,	64,54 kg O,	— kg H,	— kg N
CO . . .	94,58 „	„ 40,54 „ „	54,04 „ „	— „ „	— „ „
CH_4 . . .	1,46 „	„ 1,09 „ „	— „ „	0,37 „ „	— „ „
H	0,35 „	„ — „ „	— „ „	0,35 „ „	— „ „
N	211,58 „	„ — „ „	— „ „	— „ „	211,58 „ „
	396,73 kg	mit 65,85 kg C,	118,58 kg O,	0,72 kg H,	211,58 kg N.

Von dem Kohlensäuregehalte dieser Gase entstammten, wie oben nachgewiesen wurde, 19,05 kg aus der Beschickung; 88,76 — 19,05 = 69,71 kg gingen mithin aus der Reduction der Erze durch Kohlenoxyd hervor, und hierbei wurden $^4/_{11} \times 69{,}71 = 26{,}35$ kg Sauerstoff den Erzen entzogen. Die Gesammtmenge des Sauerstoffs, welche bei der Reduction den Erzen entzogen wurde, betrug aber:

an Eisen gebundener Sauerstoff 39,22 — 0,47	38,75 kg
„ Mangan gebundener Sauerstoff 2,95 — 1,59 . . .	1,36 „
„ Silicium gebundener Sauerstoff 11,38 — 11,21 . .	0,17 „
	40,28 kg.

Den reducirten Körpern wurde demnach von ihrem gesammten ursprünglichen Sauerstoffgehalte

durch Kohlenoxyd	25,35 kg oder	62 v. H.
„ Kohlenstoff	14,93 „ „	38 „
	40,28 kg oder	100 v. H.

entzogen. Der durch Kohlenoxyd entzogene Sauerstoff findet sich als Kohlensäure, der durch Kohlenstoff entzogene als Kohlenoxyd in den Gichtgasen wieder. Wurde also Kohlensäure, welche durch Einwirkung von Kohlenoxyd auf Erze entstanden war, durch Vergasung eines zweiten Atoms Kohlenstoff wieder in Kohlenoxyd umgewandelt, so findet sich der Sauerstoff in der durch Kohlenstoff entzogenen Menge, denn der gesammte Verbrauch an Kohle hierbei ist der gleiche, als wenn von vornherein durch Einwirkung von Kohlenstoff auf Erze Kohlenoxyd gebildet worden wäre.

In derselben Weise kann man sich über das Verhalten der übrigen Körper Rechenschaft geben.

Der gesammte Sauerstoffgehalt der Gichtgase beträgt

für je 100 kg Roheisen		118,58 kg.
Hiervon entstammen		
dem Reductionsvorgange	40,28 kg	
„ Kohlensäuregehalte der Erze und Holzkohlen	13,85 „	
„ Kohlenoxydgehalte der Holzkohlen	0,57 „	
		54,70 „
Mithin sind durch den Gebläsewind zugeführt		63,88 kg,

wobei allerdings der aus der Feuchtigkeit des Gebläsewindes stammende Sauerstoffgehalt unberücksichtigt geblieben ist.[1])

Jene 63,88 kg Sauerstoff entsprechen $\frac{63,88}{23}\,100 = 277,7$ kg oder 215,2 cbm atmosphärischer Luft für je 100 kg Roheisen. Die Menge des in 24 Stunden erzeugten Roheisens betrug 15000 kg, also in der Minute 10,4 kg; mithin Windmenge in der Minute $\frac{10,4 \times 215,2}{100} = 22,4$ cbm.

Ein annähernd gleiches Ergebniss ergiebt die Berechnung aus dem Stickstoffgehalte der Gichtgase. Sie enthalten für je 100 kg dargestellten Roheisens 211,58 kg oder 169,2 cbm Stickstoff, welche $\frac{169,2}{79}\,100 = 214,2$ cbm atmosphärischer Luft entsprechen; mithin Windmenge in der Minute $\frac{10,4 \times 214,2}{100} = 22,2$ cbm.

Eine Berechnung der Windmenge aus Düsenquerschnitt und Windspannung nach den Hauerschen Tabellen ergab in dem vorliegenden Falle 23 cbm in der Minute.

Auf Grund der für derartige Berechnungen erforderlichen Ermittelungen ist man nun auch im Stande, eine Wärmebilanz des Hochofens aufzustellen.

Der Hochofen empfängt Wärme oder den Brennstoff zu ihrer Erzeugung; er verbraucht die empfangene und erzeugte Wärme für die Verdampfung des Wassergehalts der Beschickung, Zerlegung der Hydrooxyde und Carbonate, Reduction der Sauerstoffverbindungen, Schmelzung des Roheisens und der Schlacke, und ein Theil der Wärme geht mit den austretenden Gichtgasen, dem Kühlwasser und durch Ausstrahlung der Wände verloren.

Durch Gegenüberstellung der Wärmeeinnahme und Wärmeausgabe, deren Gesammtbeträge sich decken müssen, erhält man die Wärmebilanz.

1) Derselbe lässt sich aus dem Wasserstoffgehalte der Gichtgase nach Abzug des aus den Brennstoffen stammenden Wasserstoffgehaltes ermitteln.

Der Gesammt-Wasserstoffgehalt der Gichtgase beträgt für je 100 kg Roheisen		0,72 kg.
Davon stammen		
aus dem CH_4 der Holzkohlen	0,14 kg	
„ „ H „ „	0,05 „	
		0,19 „
mithin bleibt für die Feuchtigkeit der Gebläseluft		0,53 kg H

entsprechend 4,77 kg H_2O.

Die Aufstellung einer solchen Wärmebilanz zu verschiedenen Zeiten und unter verschiedenen Betriebsverhältnissen besitzt nicht allein wissenschaftliche Bedeutung. Wie der Geschäftsmann über den Stand seines Geschäftes, über die Ursachen, welche Mindererträge oder Verluste in dem einen Falle, reichere Erträge in dem andern Falle herbeiführten, erst einen klaren Ueberblick erhält, indem er die stattgehabten Einnahmen und Ausgaben, nach Abschnitten geordnet, in der Bilanz einander gegenübergestellt und nun die Beträge, welche jene Einnahmen und Ausgaben unter verschiedenen Verhältnissen erreichten, vergleicht, so erhält auch der Eisenhüttenmann durch die Wärmebilanz seines Hochofens erst ziffernmässige Belege für die Ursachen der Abweichungen in dem Brennstoffverbrauche zu verschiedenen Zeiten oder unter verschiedenen Verhältnissen. Die Wärmebilanz zeigt ihm in solcher Weise den Weg, ungünstig wirkende Einflüsse zu beseitigen, oder bewahrt in anderen Fällen vor erfolglosen Versuchen.

Für die Anfertigung der Wärmebilanz ist eine Ermittelung der Zwischenvorgänge im Hochofen, bei welchen Wärme erzeugt oder verbraucht wird, ebensowenig erforderlich wie für die oben erläuterte Berechnung des Schmelzganges. 1 kg Kohlenstoff giebt in allen Fällen bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd als Enderzeugniss die nämliche Wärmemenge, gleichviel, ob er sofort vollständig zu Kohlenoxyd verbrannt wurde oder ob erst die Hälfte davon Kohlensäure bildete, welche dann unter Umwandlung in Kohlenoxyd die zweite Hälfte der Kohle vergaste. 1 kg Eisenoxyd bedarf, um zu metallischem Eisen reducirt zu werden, in allen Fällen die gleiche Gesammtwärme, gleichviel, ob die Reduction sofort vollständig oder erst unter Bildung von Zwischenstufen vor sich ging, gleichviel auch, ob sie durch Kohlenoxyd oder durch feste Kohle erfolgte; denn der Unterschied in dem Wärmeverbrauche bei Reduction durch Kohlenoxyd oder Kohlenstoff liegt allein in dem Umstande, dass bei ersterer Kohlensäure, bei letzterer Kohlenoxyd als Enderzeugniss der Verbrennung des Reductionsmittels hervorgeht. Daher genügt, wie schon erwähnt wurde, die Zusammensetzung der Materialien und der Enderzeugnisse des Hochofenschmelzens.

Da aber in den meisten Fällen der Wasserstoff- und Kohlenwasserstoffgehalt der Gichtgase für die Wärmebildung wenig oder gar nicht in Betracht kommen, ist für die Wärmebilanz eine vollständige Untersuchung der Gichtgase nicht einmal unbedingt erforderlich; es genügt — worauf Gruner zuerst aufmerksam machte[1]) — das Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$ in den Gichtgasen zu kennen, um die übrigen erforderlichen Ziffern daraus abzuleiten. Man weiss, wie viel Brennstoff und wie viel Beschickung zur Darstellung von 1 kg Roheisen verbraucht wurden; weiss ferner aus der Zusammensetzung dieser Körper, wie viel Kohlenstoff durch sie dem Ofen zugeführt wurde; endlich, wie viel dieses Kohlenstoffs von dem erzeugten Roheisen aufgenommen wurde. Aller übrige Kohlenstoff muss in den Gichtgasen sich wieder finden. Sein Gewicht (für je 1 kg Roheisen) sei = p, das Gewicht des in den

1) Annales des mines, série 7, tome II, p. 18; Gruner-Steffen, Analytische Studien über den Hochofen, Seite 15.

Gichtgasen für je 1 kg erzeugten Roheisens enthaltenen Kohlenoxydes $= y$, das durch Analyse ermittelte Verhältniss $\frac{CO_2}{CO} = m$ (also das Gewicht der Kohlensäure $= my$), so ergeben sich folgende Beziehungen:

$$p = \frac{3}{7} y + \frac{3}{11} my,$$

$$y = \frac{77\,p}{33 + 21\,m}.$$

Man erhält hierdurch das Gewicht des in den Gichtgasen enthaltenen Kohlenoxydes wie der Kohlensäure für je 1 kg erzeugten Roheisens und ist mit Hülfe dieser Ziffern befähigt, die Wärmebilanz aufzustellen.

Erstes Beispiel. Bei dem Holzkohlenhochofen zu Vordernberg, dessen Betriebsverhältnisse zum grossen Theil schon oben mitgetheilt wurden, stellt sich die Wärmebilanz folgendermaassen:

1. Wärmeeinnahme.

a) Durch Verbrennung von Kohlenstoff. Der verbrannte Kohlenstoff — gleichviel ob er durch atmosphärischen Sauerstoff oder durch den Sauerstoff der Erze verbrannt wurde — findet sich in den Gichtgasen theils als CO_2, theils als CO. Wie durch die früher angestellte Berechnung nachgewiesen wurde, enthielten die Gichtgase für je 1 kg[1]) dargestellten Roheisens 0,8876 kg Kohlensäure, von welcher 0,1905 kg unmittelbar aus der Beschickung stammte; für die Verbrennung der Kohle hinterbleibt 0,6971 kg Kohlensäure, entsprechend 0,1901 kg Kohlenstoff.

Der Kohlenoxydgehalt der Gichtgase für je 1 kg dargestellten Roheisens betrug 0,9458 kg, wovon 0,01 kg der Holzkohle entstammten; durch Verbrennung von Kohle entstanden also 0,9358 kg Kohlenoxyd, entsprechend 0,4011 kg Kohlenstoff.

Daher lieferte der verbrennende Kohlenstoff Wärme:

0,1901 kg zu Kohlensäure verbrennend, für je 1 kg 8080 W.-E.	1536 W.-E.
0,4011 „ „ Kohlenoxyd „ „ „ 1 „ 2470 „	991 „
	2527 W.-E.

b) Durch den erhitzten Wind. Die durch Messung gefundene Temperatur des Windes war 300° C., die Menge für 1 kg erzeugten Roheisens, wie oben berechnet, 2,777 kg, die specifische Wärme beträgt 0,237; mithin ist die von dem Winde mitgebrachte Wärme $2{,}777 \times 0{,}237 \times 300 = 198$ W.-E. Hierbei ist der Feuchtigkeitsgehalt des Windes ausser Acht gelassen; die hieraus entstehende Abweichung ist jedoch unwesentlich.

2. Wärmeausgabe.

a) Zur Reduction.

0,8215 kg Fe aus Fe_2O_3 reducirt erforderten $0{,}8215 \times 1800$[2])	1479 W.-E.
$0{,}1403 - 0{,}0167 = 0{,}1236$ kg Fe aus FeO reducirt erforderten $0{,}1236 \times 1350$	167 „
0,0222 kg Mn aus Mn_3O_4 reducirt erforderten $0{,}0222 \times 1970$	44 „
0,0015 kg Si aus SiO_2 reducirt erforderten $0{,}0015 \times 7830$.	12 „
	1702 W.-E.

b) Von 1 kg Roheisen mitgenommene Wärme[3]) 265 „

1) Zur Vermeidung allzu grosser Ziffern ist die Wärmebilanz auf 1 kg Roheisen bezogen, während die frühere Berechnung die Darstellung von 100 kg Roheisen betraf. Eine Theilung jener früheren Ziffern durch 100 giebt die für die vorliegende Rechnung entfallenden Werthe.

2) Seite 52.

3) Die Wärme lässt sich bei jedem einzelnen Versuche durch Eingiessen einer gewissen Menge des flüssigen Roheisens in Wasser besonders ermitteln. Hier genügen Durchschnittsziffern. Gruner fand bei grauem Roheisen 280 bis 285 W.-E., bei weissem Roheisen 260 bis 265 W.-E. (Gruner-Steffen, Analytische Studien über den Hochofen, Seite 129.)

c) Von der Schlacke mitgenommene Wärme. Die Menge der erfolgenden Schlacke betrug auf 1 kg Roheisen 0,6438 kg; also mitgenommene Wärme, sofern man die von 1 kg Schlacke mitgenommene Wärme zu 450 W.-E. annimmt[1]), 0,6438 × 450 260 W.-E.

d) Durch die Gichtgase mitgenommene Wärme. Die Menge der Gichtgase für je 1 kg Roheisen ist 3,967 kg; ihre durch Messung gefundene Temperatur war 173° C.; ihre specifische Wärme durchschnittlich 0,237 (für sehr genaue Rechnungen würde man die von den einzelnen Bestandtheilen mitgeführte Wärme getrennt berechnen müssen). Gesammte mitgenommene Wärme 3,967 × 173 × 0,237 188 „

e) Zur Verdampfung des Wassergehaltes und Erhitzung des Wasserdampfes auf die Temperatur der Gichtgase erforderliche Wärme. Der Wassergehalt der Beschickung und der Kohlen ist als hygroskopische Feuchtigkeit zugegen und beträgt für 1 kg Roheisen 0,1514 kg. Bei einer Durchschnittstemperatur der aufgegebenen Materialien von 7° C. musste dieser Wassergehalt um 93° C. erhitzt und dann verdampft werden; die hierzu erforderliche Wärme[2]) ist (93 + 536) 0,1514 95
Hierzu kommt die zur Höhererhitzung des Wasserdampfes erforderliche Wärme (specifische Wärme des Wasserdampfes = 0,48):
0,1514 × 73 × 0,48 5
100 „

f) Zur Zerlegung der Carbonate erforderliche Wärme. Aus den Erzen wurden für je 1 kg Roheisen 0,1664 kg Kohlensäure ausgetrieben[3]); also Wärmeverbrauch 0,1664 × 1016 170 „

g) Zur Erwärmung des Kühlwassers der Formen verbrauchte Wärme. 4 Formen gebrauchten in der Minute 6 l Wasser, dessen Temperatur um 13° C. stieg; und da in der Minute 10,4 kg Roheisen erzeugt wurden, so entfallen auf 1 kg Roheisen 0,58 l Wasser; also Wärmeverbrauch 0,58 × 13 7 „

Wärmebilanz.

Einnahme.	W.-E.	Ausgabe.	W.-E.
a) Durch Verbrennung von Kohle .	2527	a) Zur Reduction	1702
b) Durch den erhitzten Wind . .	198	b) Von dem Roheisen mitgenommen	265
		c) Von der Schlacke mitgenommen	260
		d) Durch die Gichtgase mitgenommen	188
		e) Zur Verdampfung und Ueberhitzung des Wassers . . .	100
		f) Zur Zerlegung der Carbonate .	170
		g) Zur Erwärmung des Kühlwassers	7
		h) Durch Ausstrahlung der Wände (als Restbetrag)	33
	2725		2725

Zweites Beispiel. In einem mit Koks betriebenen Hochofen zu Ormesby von 23,2 m Höhe, 584 cbm Inhalt wurden in 24 Stunden 63000 kg graues Roheisen Nr. 3 erzeugt.[4]) Zur Darstellung von 1 kg Roheisen waren erforderlich:

1) Gruner fand für 1 kg Schlacke bei Weisseisendarstellung 450 W.-E., bei Graueisendarstellung 500 W.-E.

2) Verdampfungswärme des Wassers = 536 W.-E.

3) Da die Erze geröstet waren und das Eisencarbonat hierbei leichter als das Calciumcarbonat seine Kohlensäure abgiebt, lässt sich annehmen, dass nur letzteres vorhanden war. Nach Fussanmerkung 1 auf Seite 231 gebraucht 1 kg $CaCO_3$ (mit 0,44 kg CO_2) zur Zerlegung 447 W.-E., demnach sind zur Austreibung von 1 kg CO_2 1016 W.-E. erforderlich.

4) Die Betriebsangaben sind theils Gruners mehrfach erwähnter Abhandlung (Annales des mines, série 7, tome 2, p. 52), theils den Mittheilungen von L. Bell

1,10 kg Koks mit 92,5 v. H. Kohle; also Verbrauch an Kohlenstoff für 1 kg Roheisen 1,017 kg.
2,44 „ Erz (gerösteter Blackband, dessen Eisengehalt bei der Röstung in Fe_2O_3 übergegangen war).
0,625 „ Kalkstein mit 43 v. H. Kohlensäure, enthaltend 0,073 kg Kohlenstoff, 0,197 kg Sauerstoff; also verflüchtigte Kohlensäure für 1 kg Roheisen 0,27 kg.

Die Menge der mit 1 kg Roheisen erfolgenden Schlacke betrug 1,48 kg.
Windtemperatur 780° C.
Gichttemperatur 412° C.
Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$ (m) = 0,542.

Die durchschnittliche Zusammensetzung des erzeugten Roheisens, welche in der genannten Quelle nicht mitgetheilt ist, kann, der gewöhnlichen Zusammensetzung des Clevelandroheisens Nr. III entsprechend, folgendermaassen angenommen werden:

C	3,4 v. H.
Si	1,2 „
Mn	0,5 „
P	1,3 „
Fe	93,6 „
	100,0 v. H.

Der Hochofen erhielt für 1 kg dargestellten Roheisens Kohlenstoff:

aus den Koks .	1,017 kg
„ dem Kalkstein	0,073 „
	1,090 kg
Von dem Roheisen aufgenommene Kohle	0,034 „
mithin in den Gichtgasen enthalten	1,056 kg

Die Menge des Kohlenoxydes in den Gichtgasen für 1 kg Roheisen ist also

$$y = \frac{77 \times 1{,}056}{33 + (21 \times 0{,}542)} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; 1{,}831 \text{ kg}$$

Kohlensäure in den Gichtgasen $my = 0{,}542 \times 1{,}831 =$ 0,992 „

Hieraus wird in folgender Weise die Gesammtmenge der Gichtgase und das Gewicht des dem Ofen zugeführten Gebläsewindes abgeleitet.

Der gesammte Sauerstoffgehalt der Gichtgase beträgt:

Sauerstoff in 1,831 kg CO	1,046 kg
„ „ 0,992 „ CO_2	0,721 „
	1,767 kg

Hiervon entstammte der Beschickung:

aus der Kohlensäure des Kalksteines	0,197 kg	
„ „ Reduction von 1,337 kg Fe_2O_3 zu 0,936 kg Fe .	0,401 „	
„ „ „ „ 0,025 kg SiO_2 zu 0,012 kg Si .	0,013 „	
„ „ „ „ 0,007 kg MnO zu 0,005 kg Mn .	0,002 „	
„ „ „ „ 0,029 kg P_2O_5 zu 0,013 kg P .	0,016 „	
		0,629 kg
mithin durch den Gebläsewind zugeführt		1,138 kg

Diese 1,138 kg Sauerstoff führten Stickstoff in den Ofen $\frac{77}{23} \times 1{,}138 = 3{,}810$ kg

also

Gewicht des trockenen Gebläsewindes für je 1 kg Roheisen
1,138 + 3,810 . 4,948 kg

(Bell-Tunner, Entwickelung und Verwendung der Wärme in den Eisenhochöfen) entnommen. Obgleich die Ziffern grossentheils nur Annäherungswerthe darstellen, sind sie doch ausreichend zur Erreichung des Zweckes: den Wärmeverbrauch in einem grossen, mit Koks und einer an schlackenbildenden Körpern reichen Beschickung auf graues Roheisen betriebenen Hochofen dem Wärmeverbrauche des zuerst besprochenen Hochofens gegenüber zu stellen.

Gewicht der trockenen Gichtgase für je 1 kg Roheisen:

CO	1,831	
CO_2	0,992	
N	3,810	
		6,633 „

1. Wärmeeinnahme.

a) Durch Verbrennung von Kohlenstoff. Die Gichtgase enthalten für 1 kg Roheisen 0,992 kg CO_2; hiervon entstammen 0,270 kg der Beschickung, mithin sind 0,722 kg durch Verbrennung von Kohle erzeugt. 0,722 kg CO_2 entsprechen 0,197 kg Kohle. Im Ganzen ist Kohlenstoff verbrannt 1,017 — 0,034 = 0,983 kg; hiervon ab jene 0,197 kg, welche zu CO_2 verbrannten, giebt 0,786 kg für die Verbrennung zu CO. Also Wärmeerzeugung:

durch Verbrennung zu CO_2 0,197 × 8080	1592 W.-E.
„ „ „ CO 0,786 × 2470	1941 „
	3533 W.-E.

b) Durch den erhitzten Wind. 4,948 kg auf 780° C. erhitzter Wind führte Wärme in den Ofen 4,948 × 780 × 0,237 914 W.-E.

2. Wärmeausgabe.

a) Zur Reduction.

0,936 kg Fe aus Fe_2O_3 reducirt 0,936 × 1800	1684 W.-E.
0,012 „ Si aus SiO_2 reducirt 0,012 × 7830	94 „
0,005 „ Mn aus MnO reducirt 0,005 × 1730	9 „
0,013 „ P aus P_2O_5 reducirt 0,013 × 5900	77 „
	1864 W.-E.

b) Von dem grauen Roheisen mitgenommene Wärme (Fussanmerkung 3 auf Seite 589) 280 „

c) Von der Schlacke mitgenommene Wärme. Die Menge der Schlacke betrug 1,48 kg; ihre mitgenommene Wärme in 1 kg 500 W.-E. (Fussanmerkuug 1 auf Seite 590); also Gesammtwärme 1,48 × 500 . . 740 „

d) Durch die Gichtgase mitgenommene Wärme 6,633 × 412 × 0,237 647 „

e) Zur Verdampfung und Ueberhitzung des Wassergehaltes der Beschickung. Die hygroskopische Feuchtigkeit der Erze ist nicht angegeben, dürfte aber auf 4 v. H. des Erzgewichtes zu schätzen sein; Feuchtigkeit der Koks 2½ v. H. Also wurde Wasser verdampft

aus 2,44 kg Erz	0,097 kg
„ 1,10 „ Koks	0,028 „
	0,125 kg

Verdampfungswärme 0,125 (90 + 536)	78 W.-E.
Für die Ueberhitzung auf 412° C.: 312 × 0,125 × 0,48	18 „
	96 W.-E.

f) Zur Zersetzung des Kalksteines, d. h. Austreibung von 0,27 kg CO_2 : 0,27 × 1016 . 274 „

Wärmebilanz.

Einnahme.	W.-E.	Ausgabe.	W.-E.
a) Durch Verbrennung von Kohle	3533	a) Zur Reduction	1864
b) Durch den erhitzten Wind	914	b) Von dem Roheisen mitgenommen	280
		c) Von der Schlacke mitgenommen	740
		d) Durch die Gichtgase mitgenommen	647
		e) Zur Verdampfung und Ueberhitzung des Wassers	96
		f) Zur Zerlegung des Kalksteines	274
		g) Durch Ausstrahlung und Kühlwasser (als Restbetrag)	546
	4447		4447

In dem mit Koks auf graues Roheisen betriebenen Hochofen sind fast sämmtliche Ausgaben höher, und die Erklärung dafür lässt sich in den Verschiedenheiten der Betriebsverhältnisse finden.

Der Wärmeverbrauch für die Reduction ist höher, weil die Reduction des in dem grauen Roheisen enthaltenen Siliciums, Mangans und Phosphors grössere Wärmemengen verbraucht. Die von dem gebildeten Roheisen aus dem Hochofen mitgenommene Wärme aber ist bei grauem Roheisen ohnehin beträchtlicher als bei Weisseisen, wenn auch der Unterschied nicht sehr in's Gewicht fällt.

Ein grösserer Unterschied zeigt sich bei der von den Schlacken mitgenommenen Wärme, welche bei der Graueisendarstellung mit Koks fast dreimal so hoch sich beziffert als bei der Weisseisendarstellung. Der Grund liegt in dem Umstande, dass die Clevelanderze und die Koksasche nicht allein an und für sich schon mehr schlackengebende Bestandtheile enthalten als die Erze und die Holzkohlenasche des Vordernberger Ofens, sondern auch einer noch grösseren Menge Zuschläge bedürfen, damit die für Graueisendarstellung erforderliche basische Beschaffenheit der Schlacke entstehe. Die Schlackenmenge bei der Graueisendarstellung ist also mehr als doppelt so gross als in dem andern Hochofen; jedes Kilogramm Schlacke bei dem ersteren Betriebe nimmt aber auch mehr Wärme aus dem Ofen mit fort als bei dem letzteren.

Aehnlich ist der Unterschied bei der durch die Gichtgase entführten Wärme. Zur Deckung des Wärmeverbrauches für Reduction und Schlackenschmelzen erfordert der auf graues Roheisen betriebene Kokshochofen eine grössere Wärmemenge als der andere, welche durch erhöhten Brennstoffverbrauch erzeugt wird. Die Menge der Gichtgase und somit auch die von ihnen mitgenommene Wärmemenge ist demnach grösser.

Die grössere Menge Kohlensäure in der Beschickung des auf graues Roheisen betriebenen Hochofens erfordert auch eine grössere Wärmemenge zu ihrer Austreibung.

Der Unterschied in dem Wärmeverbrauche für Kühlwasser und Ausstrahlung erklärt sich zum Theil aus der geringeren Leistung des Kokshochofens, bezogen auf den gleichen räumlichen Inhalt. Der Kokshochofen liefert bei einem Rauminhalte von 584 cbm täglich 63000 kg Roheisen, für 1 cbm also 108 kg; der Holzkohlenhochofen zu Vordernberg liefert bei 31,9 cbm Inhalt täglich 15000 kg oder für 1 cbm 470 kg Roheisen, d. i. mehr als viermal so viel als jener. Hierzu kommt aber noch der Umstand, dass die Temperatur in dem mit Koks auf graues Roheisen betriebenen Hochofen höher ist und nothwendigerweise höher sein muss, als in dem andern Ofen; die Ofenwände werden stärker erhitzt, bedürfen einer ausgedehnteren Kühlung, strahlen reichlichere Wärmemengen aus, und der Wärmeverbrauch fällt höher aus.

6. Die Betriebsergebnisse.

Auf Grundlage der täglichen Nachweise über den Verbrauch an Erzen, Zuschlägen, Kohlen und über den Erfolg an Roheisen wird das Schmelzbuch geführt, welches in übersichtlicher Weise neben einander

den stattgehabten Verbrauch sowie die Roheisenerzeugung erkennen lässt; und zwar zunächst in täglichen Summen, aus denen sich alsdann die Summen für die Woche, den Monat u. s. w. ergeben. Neben dieser Abrechnung pflegt das Schmelzbuch tägliche Anmerkungen über Pressung und Temperatur des Windes, Beschaffenheit des erfolgten Roheisens und über alle jene Vorkommnisse zu enthalten, deren Kenntniss von Belang für die Beurtheilung des Hochofenganges ist. Auf diese Weise bildet ein mit Sorgfalt geführtes Schmelzbuch eine Chronik des Hochofenbetriebes, lehrreich für den, welcher sie mit Aufmerksamkeit benutzt.

In bestimmten Zeitabschnitten, häufig allwöchentlich, jedenfalls monatlich und der Regel nach auch am Jahresschlusse, berechnet man aus dem stattgehabten Materialienverbrauche und der Menge des gewonnenen Roheisens die durchschnittlichen Betriebsergebnisse, bezogen auf die Einheit der Zeit oder des Gewichts an verbrauchten Rohstoffen und erfolgtem Roheisen. Ein Vergleich dieser Betriebsergebnisse, welche zu verschiedenen Zeiten, unter Umständen auch bei verschiedenen Oefen, erlangt wurden, giebt einen Maassstab für den mehr oder minder günstigen Verlauf des Hochofenbetriebes und spornt dazu an, den Ursachen nachzuforschen, welche diese Abweichungen, insbesondere die ungünstigeren Ergebnisse, hervorriefen.

Dass übrigens Hochöfen, welche verschiedenen Rauminhalt besitzen, verschiedene Erze verhütten, verschiedene Brennstoffe benutzen, verschiedene Roheisensorten darstellen, auch sehr abweichende Betriebsergebnisse liefern können, versteht sich nach dem Gesagten über die Eigenthümlichkeiten des Hochofenschmelzens von selbst. Lehrreich ist ein Vergleich der Betriebsergebnisse auch in diesen Fällen, indem er auf die Einflüsse hinweist, welche durch Rauminhalt des Ofens, Reducirbarkeit und Eisengehalt der Erze u. s. w. auf den Ausfall der Betriebsergebnisse ausgeübt werden.

Die wichtigsten dieser Betriebsergebnisse sind folgende.

a) **Roheisenerzeugung des Hochofens in bestimmter Zeit** (in einem Tage oder einer Woche). Die Erzeugungsfähigkeit der Hochöfen ist von verschiedenen Umständen abhängig. Zunächst von ihrer Grösse. Der grössere Ofen kann bei Verhüttung der gleichen Erze und Darstellung des gleichen Roheisens mehr Roheisen als der kleinere liefern. Dass jedoch im Allgemeinen die Roheisenerzeugung der Hochöfen nicht im einfachen Verhältnisse mit ihrem Rauminhalte zunimmt, dass, mit anderen Worten, ein Ofen, welcher den doppelten Rauminhalt als ein zweiter Ofen besitzt, doch nicht die doppelte Menge Roheisen zu erzeugen pflegt, wurde schon früher erwähnt.

Auch die Beschaffenheit der Erze ist hierbei maassgebend. Schwerreducirbare Erze bedürfen einer längeren Durchsetzzeit als leichtreducirbare, und bei ihrer Verhüttung liefert der Hochofen demnach weniger Roheisen. Nicht minder wichtig ist ihr Eisengehalt. Je eisenreicher die Erze sind, desto grösser ist die Menge der gleichzeitig in dem Ofen anwesenden Eisenoxyde, desto grösser bei gleicher Durchsetzzeit die Eisenerzeugung. Zu dem Eisengehalte der Erze pflegt aber die Menge der schlackengebenden Bestandtheile im umgekehrten Verhältnisse zu stehen; je weniger Schlacke gebildet und geschmolzen wird,

desto weniger Wärme wird für diesen Zweck verbraucht, desto mehr Eisen kann bei gleicher Wärmeentwickelung erzeugt werden.

Inwiefern die Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens für die Erzeugungsfähigkeit des Hochofens von Einfluss ist, folgt aus dem früher Gesagten über die Eigenthümlichkeiten des Hochofenschmelzens und die zu erfüllenden Bedingungen für Darstellung bestimmter Roheisengattungen.

Bei Darstellung manganarmen Weisseisens (Puddelroheisens) ist die Erzeugung des Hochofens am grössten. Die Leistungsfähigkeit eines und desselben Hochofens bei der Darstellung verschiedener Roheisensorten verhält sich ungefähr folgendermaasen:

Gewöhnliches Weisseisen	Tiefgraues Roheisen	Grobspiegeleisen mit 10 bis 12 v. H. Mangan	Hochmanganhaltiges Spiegeleisen	Siliciumeisen mit 12 bis 15 v. H. Silicium	Eisenmangan mit 75 bis 80 v. H. Mangan
100	70	65	50	35	25

Bisweilen ist eine zu schwache Leistung des Hochofengebläses die Ursache einer im Vergleiche zu den übrigen Betriebsverhältnissen zu geringen Erzeugung des Ofens. Mit der Grösse des Hochofens muss, wie früher erläutert wurde, nicht nur die Windmenge, sondern auch die Windspannung wachsen; ist das verfügbare Gebläse nicht im Stande, diese gesteigerten Ansprüche zu erfüllen, so erzeugt der Hochofen weniger Roheisen, als er seiner Grösse nach zu erzeugen befähigt sein würde.

Mit der Grösse der Hochöfen, mit der Vervollkommnung der Winderhitzer und des Ofenbaues ist die Erzeugungsfähigkeit der Hochöfen seit dem Beginne des neunzehnten Jahrhunderts von Jahrzehnt zu Jahrzehnt gewachsen. Während in früheren Jahrhunderten ein Hochofen in 24 Stunden oft weniger als 1 t Roheisen lieferte, gehört eine Tageserzeugung von nicht über 5 t in der Jetztzeit zu den seltenen Ausnahmen und kommt nur noch bei Holzkohlenhochöfen vor, welche für die unmittelbare Darstellung von Gusswaaren betrieben werden. Die meisten Holzkohlenhochöfen liefern täglich 12 bis 20 t Roheisen, einzelne noch mehr. Die schwedischen Holzkohlenhochöfen lieferten während des Jahres 1897 im Durchschnitt täglich 13 t, darunter die Hochöfen von Domnarfet in Kopparberg allein 30,3 t;[1]) ein Holzkohlenhochofen in Vordernberg von 113 cbm Inhalt (vergleiche oben Fig. 90) erzeugte 1897 durchschnittlich 63 t im Tage, der mit harten Holzkohlen betriebene Hinkleofen zu Ashland (Wisconsin) von 130 cbm Inhalt im Jahre 1896 täglich 120 t.[2])

Bei den mit Koks betriebenen Hochöfen mittlerer Grösse (350 bis 400 cbm) beträgt die Tageserzeugung beim Betriebe auf gewöhnliches Weisseisen meistens 120 bis 180 t, beim Betriebe auf graues Roheisen oder Spiegeleisen 80 bis 120 t, doch kann unter günstigen Verhältnissen, insbesondere bei Verhüttung reicher Beschickungen, jenes Maass erheblich überschritten werden. Die Hochöfen zu Ilsede bei Peine, deren neuester und grösster in Fig. 92 im Profile abgebildet ist, liefern schon seit Jahren bei der Verhüttung leichtreducirbarer Bohnerze (Seite 212)

1) „Stahl und Eisen“ 1898, S. 1055.

2) Journal of the Iron and Steel Institute 1896 II, p. 348; auch „Stahl und Eisen“ 1896, S. 351.

an 200 t Weisseisen, obschon ihr Rauminhalt bisher weniger als 400 cbm betrug; neuere rheinisch-westfälische Hochöfen mit 400 bis 500 cbm Inhalt, welche zum grossen Theile ausländische reiche Erze verhütten, erzeugen 250 bis 300 t. Sehr grosse Tageserzeugungen weisen auch verschiedene nordamerikanische Hochöfen auf, welche die reichen Erze vom Oberen See (Seite 16) mit Koks verhütten. Die Oefen der Edgar Thomson Works liefern bei etwa 550 cbm Inhalt täglich im Mittel etwa 380 t, bisweilen über 400 t Roheisen,[1]) ein Ofen zu Duquesne von 740 cbm Inhalt täglich über 550 t.[2])

b) Verhältniss der Roheisenerzeugung zum Rauminhalte. Die betreffende Zahl ist von dem Eisengehalte und der Reducirbarkeit der Erze, der Beschaffenheit des benutzten Brennstoffs und erfolgenden Roheisens, der Windtemperatur und auch der Grösse des Hochofens abhängig. Schon auf Seite 397 wurde des Umstandes gedacht, dass bei kleinen Hochöfen das Verhältniss der Roheisenerzeugung zum Rauminhalte günstiger als bei grossen zu sein pflege. Zum Theil aus diesem Grunde, zum Theil auch wegen der beim Holzkohlenbetriebe geringeren Menge erforderlicher Zuschläge pflegt auch jenes Verhältniss beim Holzkohlenbetriebe günstiger als beim Betriebe mit mineralischen Brennstoffen zu sein. Bei dem auf Seite 595 erwähnten Hinkleofen zu Ashland beträgt die tägliche Roheisenerzeugung auf je 1 cbm Inhalt 900 kg, und dieses Ergebniss dürfte übrigens bislang unübertroffen dastehen. Einige nordamerikanische und einige andere deutsche Koksöfen liefern 600 kg, der Hochofen zu Duquesne sogar 750 kg; die Mehrzahl der Kokshochöfen vermag nicht über 400 kg zu erzeugen, und bei Verhüttung armer Beschickungen kann die Erzeugung auf 150 bis 200 kg beschränkt bleiben.

c) Erzsatz auf die Gewichtseinheit (1000 kg) des Brennstoffs. Der Erzsatz ist grösser bei Darstellung von manganarmem Weisseisen als bei Spiegeleisen- oder Graueisendarstellung, übrigens auch von der Reducirbarkeit und dem Eisengehalte der Erze, der Grösse des Hochofens, dem Grade der Winderhitzung, der Beschaffenheit der Brennstoffe abhängig. Je ärmer an Eisen die Beschickung ist, desto höher kann der Erzsatz auf die gleiche Menge Brennstoff sein, da die Reduction, Kohlung und Schmelzung des Eisens grössere Brennstoffmengen erheischt, als das Schmelzen von Schlacke oder die Verflüchtigung von Wasser oder Kohlensäure (vergl. die Wärmebilanz auf Seite 590 u. 592). In den meisten Fällen beträgt der Erzsatz (einschliesslich der Zuschläge) auf 1000 kg Koks 2000 bis 3000 kg, auf 1000 kg Holzkohlen 2000 bis 3500 kg. Bei Holzkohlenhochöfen, welche auf graues Roheisen betrieben werden, beträgt bei einem Eisengehalte der Beschickung von 33 v. H. der Erzsatz durchschnittlich 2600 kg; bei dem auf Seite 589 erwähnten Hochofen zu Vordernberg, welcher aus einer reichen Beschickung (Eisengehalt der Beschickung etwa 50 v. H.) weisses Roheisen darstellt, beträgt der Erzsatz einschliesslich Zuschläge etwa 2800 kg. Bei schwedischen Holzkohlenhochöfen, deren Beschickung aus reichen

1) „Stahl und Eisen“ 1896, S. 571.

2) In der Zeit vom 11. Juni bis 10. Juli 1898 täglich 582 t. Engineering and Mining Journal vol. 66, p. 121. Vergleiche auch „Stahl und Eisen“ 1897, S. 294.

und grossentheils schwerreducirbaren Erzen besteht, setzt man bei Weisseisendarstellung etwa 2400 kg, bei Graueisendarstellung nur etwa 2100 kg Erz auf 1000 kg Brennstoff. Aehnliche Verhältnisszahlen ergeben sich bei nordamerikanischen Holzkohlenöfen.

Die mit leicht reducirbaren Sphärosideriten auf graues Roheisen betriebenen Kokshochöfen Clevelands ermöglichen einen Erzsatz von 2700 bis 2800 kg, Luxemburger und Lothringer Hochöfen bei Weisseisendarstellung aus Minette einen Erzsatz von 2800 bis 3000 kg, rheinisch-westfälische Hochöfen bei Graueisendarstellung einen solchen von etwa 2500 kg, bei Weisseisendarstellung von 2500 bis 3000 kg.

d) Roheisenausbringen aus den Erzen und dem Möller. Die Berechnung dieses Betriebsergebnisses ist wichtig. Man erhält dadurch den Ausweis, ob das Ausbringen in verschiedenen Zeiten unverändert geblieben ist, und ausserdem muss auch bei Beurtheilung der übrigen Betriebsergebnisse das Ausbringen in Berücksichtigung gezogen werden. Die tägliche Erzeugung eines Ofens wird grösser, der Brennstoffverbrauch für die gleiche Menge dargestellten Roheisens geringer, wenn das Ausbringen hoch, als wenn es niedrig ist. Da ein kleiner Theil des Eisengehaltes der Erze verschlackt zu werden pflegt, das Roheisen aber neben Eisen jedenfalls Kohlenstoff, häufig Silicium, Phosphor, Mangan u. s. w. in erheblichen Mengen enthält, kann das Ausbringen nicht genau mit dem durch die chemische Untersuchung gefundenen durchschnittlichen Eisengehalte übereinstimmen. Nur bei sehr starkem Rohgange, wobei grosse Eisenmengen verschlackt werden, ist das Ausbringen niedriger als der Eisengehalt. Am nächsten stimmt es bei Darstellung gewöhnlichen manganarmen Weisseisens überein; bei Graueisendarstellung und bei Spiegeleisendarstellung ist es um einige Hunderttheile höher.

Meistens beträgt das Ausbringen aus dem Möller 30 bis 45 v. H. des Möllergewichts. In einzelnen Fällen, wo die Preise der Erze und Kohlen billig sind, lassen sich Beschickungen mit einem Ausbringen von nicht über 25 v. H. noch mit Nutzen verhütten, in anderen Fällen — bei Verhüttung reicher Erze — ist man in der günstigen Lage, ein Ausbringen von mehr als 50 v. H. zu erzielen. Jene oben erwähnten, durch hohe Tageserzeugung ausgezeichneten Hochöfen Nordamerikas verarbeiten Beschickungen mit 50 bis 55 v. H. Ausbringen; der mit Holzkohlen betriebene Hinkle-Hochofen zu Ashland hat sogar ein Ausbringen von 58 v. H. des Möllergewichts.[1]) Da die Verhüttung mit mineralischen Brennstoffen fast immer einen grösseren Aufwand von Zuschlägen erforderlich macht, als die Verhüttung mit Holzkohlen, pflegt das Ausbringen aus dem Möller, selbst wenn die gleichen Erze verhüttet werden, in dem ersteren Falle niedriger als in dem zweiten zu sein.

e) Verbrauch an Brennstoff zur Darstellung einer bestimmten Menge — gewöhnlich 1000 kg — Roheisen. Auch dieses Betriebsergebniss ist bedeutungsvoll für die Beurtheilung des Schmelzganges; insbesondere vom wirthschaftlichen Standpunkte. Mit einiger

1) J. G. von Ehrenwerth, Das Berg- und Hüttenwesen auf der Weltausstellung zu Chicago. Wien 1897. Seite 106.

Annäherung lässt sich berechnen, welcher niedrigste Brennstoffverbrauch unter den günstigsten Verhältnissen sich ergeben würde.

In dem oberen Theile des Hochofens werden die höheren Oxydationsstufen des Eisens durch Kohlenoxyd zu Eisenoxydul reducirt; soll auch dieses nur durch Kohlenoxyd zu metallischem Eisen reducirt werden, so ist nach Seite 286 hierfür ein Ueberschuss des Reductionsmittels erforderlich, welcher der Formel $FeO + 3CO = Fe + CO_2 + 2CO$ entspricht. Damit 1 Atom oder 56 Gewichtstheile Eisen reducirt werden, müssen demnach 3 Atome oder 36 Gewichtstheile Kohlenstoff durch Gebläsewind zu Kohlenoxyd verbrannt werden; für 1000 kg Eisen mithin 643 kg Kohlenstoff. Hierzu kommen etwa 40 kg Kohlenstoff, welche von den 1000 kg Eisen aufgenommen werden; also zusammen 683 kg. Reicht nun die bei der Verbrennung jener 643 kg Kohlenstoff entwickelte Wärme im Vereine mit der vom Gebläsewind zugeführten Wärme aus, den Wärmebedarf des Ofens zu decken und die erforderliche Temperatur im Ofen zu entwickeln, so würden demnach 683 kg Kohlenstoff genügen, 1040 kg Roheisen zu erzeugen, mithin für 1000 kg Roheisen 657 kg Kohlenstoff erforderlich sein. Ein Mehrverbrauch an Kohlenstoff entsteht, wenn der Wärmeverbrauch des Ofens grösser ist, als hier angenommen wurde. Der Fall ist der häufigere. Andererseits kann unter bestimmten Verhältnissen auch noch eine Abminderung jenes Verbrauchs eintreten. Ist nämlich der vom Brennstoffe zu deckende Wärmeverbrauch des Ofens geringer als die Wärmemenge, welche bei der Erzeugung des als Reductionsmittel dienenden Kohlenoxyds entwickelt wird, z. B. bei Verhüttung reicher Erze mit hoch erhitztem Winde, so ist es möglich, mit noch niedrigerem Brennstoffverbrauche, als berechnet, zu schmelzen, sofern ein Theil des Eisenoxyduls durch Kohlenstoff statt durch Kohlenoxyd reducirt wird. (Formel $FeO + C = Fe + CO$.) Hierbei ist, wie auch auf Seite 286 hervorgehoben wurde, ein Ueberschuss des Reductionsmittels nicht erforderlich; 56 Gewichtstheile Eisen erfordern nur 12 Gewichtstheile Kohlenstoff zur Reduction, 1000 Gewichtstheile Eisen 214 kg Kohle statt der in dem oben besprochenen Falle benöthigen 643 kg. Der Wärmeverbrauch bei der Reduction durch Kohlenstoff ist aber höher als bei der Reduction durch Kohlenoxyd (Seite 287), während die Wärmeentwickelung im Ofen geringer ausfällt, sobald ein Theil des ihm zugeführten Kohlenstoffs nicht mehr durch freien Sauerstoff vor den Formen verbrannt, sondern sofort zur Reduction der Erze verbraucht wird. Demnach tritt bald Ausgleich ein, wenn bei vorhandenem Wärmeüberschuss der Aufwand an Brennstoff unter das berechnete Maass verringert und hierdurch Veranlassung zur theilweisen Reduction der Erze durch Kohlenstoff gegeben wird. Wenn daher thatsächlich auf dem bezeichneten Wege mitunter eine Ersparung an Brennstoff erreichbar ist, so vermag sie doch ein ziemlich niedriges Maass nicht zu überschreiten, da auch die stärkste Erhitzung des Windes bald nicht mehr ausreichen würde, den zunehmenden Wärmeverbrauch für die Reduction zu decken.[1])

1) R. Åkermann, Om syrsatt jerns reduction med koloxid. Jernkontorets Annaler 1882; in deutscher Uebersetzung in „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 149.

Bei einem schwedischen Hochofen fand Tamm[1]) einen Verbrauch an reiner Kohle von 584 kg; sofern diese Angabe zuverlässig ist, zählt das Ergebniss zu den günstigsten überhaupt erreichbaren.

Der Hochofen erhält aber nicht reine Kohle, sondern Brennstoff, welcher stets Feuchtigkeit, Asche sowie kleinere Mengen Wasserstoff und Stickstoff enthält. Die im Schuppen lagernde Holzkohle enthält selten mehr als 84 v. H. Kohlenstoff (Seite 77); Holzkohlen, die im Freien der Einwirkung von Regen und Schnee ausgesetzt waren, und aschenreiche Koks enthalten noch weniger. Der erforderliche geringste Brennstoffbedarf zur Darstellung von 1000 kg Roheisen im Hochofen kann demnach auch unter den günstigsten Verhältnissen nicht erheblich weniger als 700 kg betragen.

Aus den früheren Darlegungen über das Hochofenschmelzen und den Wärmeverbrauch im Hochofen ergiebt sich, dass die Darstellung manganarmen und phosphorarmen Weisseisens unter allen Roheisensorten den geringsten Wärmeverbrauch erheischt, und dass der letztere mit dem Siliciumgehalte, Phosphorgehalte und Mangangehalte des Roheisens steigt. Bei Verhüttung reicher Beschickungen oder leicht reducirbarer Erze ist der Brennstoffverbrauch durchschnittlich niedriger als bei Verhüttung armer Beschickungen oder schwer reducirbarer Erze, bei grossen Oefen und Anwendung hoch erhitzten Windes durchschnittlich niedriger als bei kleineren Oefen und kälterem Winde.

Die Erfahrung lehrt auch, dass der Brennstoffverbrauch der Holzkohlenhochöfen durchschnittlich niedriger ist als derjenige der Kokshochöfen, welche gleiche Erze verhütten. Bei der Anwendung von Koks sind in Rücksicht auf deren Asche- und Schwefelgehalt grössere Mengen von Zuschlägen erforderlich, das Verhältniss des Schlackengewichts zum Roheisengewicht ist grösser und demnach auch der Wärmeaufwand zum Schlackenschmelzen beträchtlicher.

Bei dem mehrfach erwähnten Hochofen zu Vordernberg gebraucht man für 1000 kg weisses Roheisen im Mittel 750 kg, bei dem Hinkleofen für 1000 kg graues Roheisen mit 2 v. H. Silicium 780 kg Holzkohlen.[2]) Bei kleineren Holzkohlenhochöfen, zumal solchen, welche minder reiche Beschickungen zu verhütten haben, pflegt der Brennstoffverbrauch für Weisseisendarstellung 800 bis 950 kg, für Graueisendarstellung 900 bis 1100 kg zu betragen.

Unter den Kokshochöfen zeichnen sich einzelne jener erwähnten grossen amerikanischen Oefen, welche die reichen Erze des Obern Sees verhütten, durch niedrigen Brennstoffverbrauch aus. Bei einem Ofen der Edgar Thomson Works gebraucht man für 1000 kg lichtgraues Roheisen nicht über 800 kg, auf einigen anderen Werken nicht über 850 kg Koks.[3]) Auf deutschen Werken pflegt man für 1000 kg weisses Roheisen 900 bis 950 kg, für graues Roheisen (Giesserroheisen) 1050 bis 1150 kg Koks zu gebrauchen; unter ungünstigen Verhältnissen noch etwas mehr.

1) „Stahl und Eisen" 1883, Seite 159.
2) Fussanmerkung 1 auf Seite 597.
3) „Stahl und Eisen" 1896, Seite 571.

Spiegeleisendarstellung mit Koks erfordert, sofern der Mangangehalt nicht mehr als 12 v. H. beträgt, zwar einen höheren Brennstoffverbrauch als gewöhnliches Weisseisen, ohne dass er jedoch die Höhe wie bei Darstellung tiefgrauen Roheisens erreichte. In Rheinland und Westfalen gebraucht man gewöhnlich 1000 bis 1100 kg Koks für 1000 kg Grobspiegel. Bei hochhaltigem Spiegeleisen (20 v. H. Mangan) steigt der Koksverbrauch auf 1300 bis 1500 kg, bei Darstellung von Eisenmangan mit hohem Mangangehalte bis auf 2000 kg.

Der Brennstoffverbrauch beim Betriebe von Anthracithochöfen stellt sich gewöhnlich etwas höher als bei Kokshochöfen.

f) Selbstkosten (auch Erzeugungskosten oder Gestehungskosten genannt) **des Roheisens.** Insofern von den Selbstkosten und ihrem Verhältnisse zu dem Verkaufspreise des Roheisens in erster Reihe die Lebensfähigkeit eines Hochofenwerkes abhängt, bilden sie das wichtigste aller Betriebsergebnisse, zugleich aber auch dasjenige, dessen genaue Ermittelung am wenigsten einfach ist. Diese Selbstkosten setzen sich aus folgenden Einzelwerthen zusammen:

1. Ausgabe für die Erze zur Darstellung einer bestimmten Menge (1000 kg) Roheisen.
2. Ausgabe für Zuschläge (Kalkstein).
3. Ausgabe für Brennstoffe.
4. Löhne. Der Betrag der Löhne für eine bestimmte Menge dargestellten Roheisens hängt zum Theil von örtlichen Verhältnissen, d. h. von den üblichen Lohnsätzen am Orte des Hochofenwerkes ab, mehr aber noch von dem Umfange der Roheisenerzeugung des Hochofens und auch von den Einrichtungen zur Ersparung an Arbeit für die Beförderung der Rohstoffe. Je grösser die Roheisenerzeugung ist, und je vollkommener jene Einrichtungen sind, desto niedriger fallen die Löhne für die Gewichtseinheit des dargestellten Roheisens aus. Deshalb sind bei dem Betriebe von Holzkohlenhochöfen die Löhne für die Tonne Roheisen fast immer erheblich höher als bei dem Betriebe von Kokshochöfen, bei Darstellung des grauen Roheisens, Spiegeleisens oder Eisenmangans höher als bei Darstellung gewöhnlichen Weisseisens. Auf europäischen Eisenwerken pflegt bei dem Betriebe mit Koks die Höhe der Löhne für 1 t erzeugten Roheisens 2 bis 3,50 ℳ zu betragen, während bei dem Betriebe mit Holzkohlen die Ausgabe in Anbetracht der kleineren Tageserzeugung auf 10 ℳ und darüber steigen kann. Höher als in Europa ist der Tagesverdienst eines Arbeiters in Nordamerika, aber die durchschnittlich höhere Roheisenerzeugung nordamerikanischer Hochöfen und die zum Theil vortrefflichen Beförderungseinrichtungen ermöglichen es, dass der Lohnbetrag auf 1 t Roheisen nicht wesentlich höher sich beziffert, als in Europa. Das Bestreben nordamerikanischer Hochofenleute, die Erzeugungsfähigkeit ihrer Oefen bis zum äussersten zu steigern, selbst auf Kosten der Haltbarkeit der Oefen, findet zum Theil seine Begründung in der dadurch erreichten Erniedrigung der Löhne.
5. Die Insgemeinkosten. Man versteht hierunter eine Summe von Ausgaben, deren Betrag im Einzelnen zu geringfügig oder auch in kürzeren Zeitabschnitten zu bedeutenden Schwankungen unterworfen

ist, um besonders in Rechnung gestellt zu werden. Hierher gehört z. B. die Wartung der Maschinen (Löhne, Schmiermaterialien, Reparaturkosten), die Instandhaltung des Gezähes und Inventars (der Werkzeuge, Gicht- und Schlackenwagen u. s. w.), Besoldungen der Beamten und Aufseher, Verwaltungskosten, Steuern, Amortisation, Beleuchtung und anderes mehr.

Enthält das Eisenwerk neben der Hochofenanlage noch Anlagen für andere Betriebszweige, so lassen einzelne dieser Insgemeinkosten nur im Ganzen sich ermitteln (Steuern, Besoldungen, Verwaltungskosten u. a.), und nach einer als geeignet befundenen Regel muss alsdann ihre Vertheilung auf die einzelnen Betriebszweige bewirkt werden. In den meisten Fällen kann das Verhältniss der bei diesem und jenem Betriebszweige gezahlten Löhne als ein geeigneter Maassstab für die Vertheilung jener Insgemeinkosten dienen.

Berechnet man die Selbstkosten des Roheisens für einen längeren Zeitabschnitt, z. B. ein Jahr, so ergiebt ein Auszug aus den Büchern ohne Weiteres die Summe jener Insgemeinkosten; will man aber für einen kürzeren Zeitabschnitt, z. B. einen Monat, eine Selbstkostenberechnung des Roheisens aufstellen, so würde man auf diese Weise kaum auf ein zuverlässiges Ergebniss rechnen können, da manche der hierher gehörigen Ausgaben überhaupt nur in einer oder in wenigen grösseren Summen im Laufe eines Jahres aufzutreten pflegen (z. B. Steuern).

In solchen Fällen hat man also die Insgemeinkosten nach Maassgabe früherer Ergebnisse in Ansatz zu bringen, und zwar giebt auch hier ihre Berechnung nach dem Verhältnisse der gezahlten Löhne meistens das zuverlässigste Ergebniss. Mit den Löhnen, d. h. mit der Zahl der beschäftigten Arbeiter, steigen und fallen fast sämmtliche der zu den Insgemeinkosten gehörenden Ausgaben; stellt der für die Tonne Roheisen gezahlte Lohnbetrag sich günstig, so ist dasselbe fast immer auch hinsichtlich der Insgemeinkosten der Fall, und umgekehrt.

Gewöhnlich schwankt der Betrag der auf 1 t Roheisen entfallenden Insgemeinkosten des Hochofenbetriebes zwischen der Hälfte bis dem vollen Betrag der Löhne.

Einzelne der Ausgaben, welche bei den unten folgenden Beispielen unter die Insgemeinkosten aufgenommen sind, lassen sich auch von ihnen abzweigen und besonders in Rechnung stellen, wenn man auf einem Eisenwerke die Selbstkosten in verschiedenen Zeitabschnitten des Betriebes mit einander vergleichen und die Ursachen ihrer Schwankungen thunlichst sorgfältig ermitteln will (Kosten der Hülfswerkstätten, z. B. der Schlosserei, der Beleuchtung u. a. m.). Für den Zweck der hier gegebenen Beispiele, einen allgemeinen Ueberblick über die Umstände zu ermöglichen, von welchen die Erzeugungskosten abhängen, ist jedoch eine solche in's Einzelne gehende Aufstellung entbehrlich.

Unter allen Roheisensorten pflegt phosphorhaltiges, nicht sehr manganreiches Weisseisen (Thomasroheisen, Puddelroheisen) die niedrigsten Erzeugungskosten zu besitzen, da es aus billigen Erzen mit verhältnissmässig geringem Brennstoffverbrauche und raschem Gange des Hochofens gewonnen werden kann; dann kommt phosphorarmes weissstrahliges Roheisen und Spiegeleisen, dessen Selbstkosten mit dem

Mangangehalte steigen. Graues phosphorarmes Roheisen pflegt etwas höhere Erzeugungskosten zu besitzen als Spiegeleisen mit mittlerem Mangangehalte, während phosphorreiches, aus Minette oder billig zu gewinnenden Sphärosideriten erzeugt, meistens zu niedrigerem Preise als dieses sich darstellen lässt.

Beispiele.

1. Es möge zunächst die Art der Berechnung erläutert werden. Auf einem Hochofenwerke sind zur Darstellung von 1 t grauen Roheisens während eines bestimmten Zeitabschnittes die in nachfolgender Zusammenstellung angegebenen Schmelzmaterialien zu den ebenfalls angegebenen Einheitspreisen verbraucht worden; die Höhe der für 1 t erzeugten Roheisens gezahlten Löhne hat 2,82 ℳ betragen, und das Verhältniss der Insgemeinkosten zu den Löhnen war nach dem Abschlusse der letzten Jahresrechnung = 0,8 : 1, so ergiebt sich der Betrag der Selbstkosten für 1 t Roheisen in dem betreffenden Zeitabschnitte:

1430 kg	gerösteter Kohleneisenstein	1 t zu 9,66 ℳ	13,81 ℳ
550 „	Rotheisenstein	1 „ „ 15,00 „	8,25 „
390 „	Frischschlacken	1 „ „ 6,00 „	2,34 „
675 „	Kalkstein	1 „ „ 5,00 „	3,37 „
1050 „	Koks	1 „ „ 14,50 „	15,22 „
	Löhne		2,82 „
	Insgemeinkosten 0,8 × 2,82		2,15 „
		zusammen	47,96 ℳ

2. Die Selbstkosten des in Cleveland aus gerösteten Sphärosideriten dargestellten grauen Giessereiroheisens (mit etwa 1,4 v. H. Phosphor) betrugen im Jahre 1872 für 1 t durchschnittlich:[1])

Erze	12,58 ℳ
Koks	13,33 „
Kalkstein	2,50 „
Löhne	4,08 „
Insgemeinkosten	3,91 „
zusammen	36,40 ℳ

Seitdem ist auch bei den dortigen Oefen die Erzeugung gewachsen, die Betriebseinrichtungen sind vervollkommnet, die Löhne und Insgemeinkosten in Folge davon gesunken, so dass in der Jetztzeit die Erzeugungskosten sich um etwa 4 ℳ niedriger als damals stellen dürften, sofern nicht die Förderungskosten für die Erze höher geworden sind. Die Erzeugungskosten für graues Bessemerroheisen aus phosphorarmen, fremden und deshalb kostspieligeren Erzen betrugen in demselben Bezirke im Jahre 1897 ungefähr:[2])

Erze	30,24 ℳ
Koks	13,35 „
Kalkstein	2,02 „
Löhne	2,77 „
Insgemeinkosten	1,51 „
zusammen	49,89 ℳ

1) Wachler, Vergleichende Qualitätsuntersuchungen rheinisch-westfälischen und ausländischen Giessereiroheisens, Seite 34.

2) „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 635, aus Engineering and Mining Journal 1897, Seite 671.

3. Bei einem Luxemburger Hochofenwerke, welches aus selbstgewonnener Minette unter Zusatz manganhaltiger Erze und Puddelschlacken ohne Anwendung besonderer Zuschläge weisses phosphorreiches Roheisen (Thomasroheisen) erzeugte, betrugen die Selbstkosten im Jahre 1887 für 1 t Roheisen:

2985 kg	Minette	1 t zu 1,60 ℳ[1])	4,77 ℳ
242 „	manganhaltiges Erz	1 „ „ 15,50 „	3,75 „
57 „	Puddelschlacke	1 „ „ 1,20 „	0,07 „
1001 „	Koks	1 „ „ 14,94 „	14,96 „
	Löhne		2,42 „
	Insgemeinkosten		2,10 „
		zusammen	28,07 ℳ

Wie man sieht, geben die Preise der Erze und Brennstoffe in erster Reihe den Ausschlag für die Erzeugungskosten des Roheisens. Wo jene billig zu erlangen sind, sei es aus eigenen Gruben oder aus der Ferne bei niedrigen Frachtkosten, da kann der Hochofenbetrieb sich günstig entwickeln, wo es nicht der Fall ist, darf auf einen nutzbringenden Betrieb nicht gerechnet werden. Erst in zweiter Reihe kommen die Ausgaben für Löhne und Insgemeinkosten in Betracht.[2])

Litteratur.

a) Einzelne Werke.

H. Wedding, Zweiter Ergänzungsband zum Handbuch der Eisenhüttenkunde. Braunschweig 1888. S. 5 bis 35 (Berechnung der Beschickung), S. 39 bis 52 (Wärmebilanz), S. 297 bis 420 (Stoff- und Arbeitshaushalt des Hochofens), S. 469 bis 481 (Selbstkostenberechnung).

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten. Leipzig 1882 bis 1892. Bd. 2.

M. L. Gruner, Analytische Studien über den Hochofen. Nach dem Französischen bearbeitet von J. H. Steffen. Wiesbaden 1875.

R. Åkerman, Studien über die Wärmeverhältnisse des Eisenhochofenprocesses. Deutsch von P. Tunner. Leipzig 1872.

J. L. Lowthian Bell, Ueber die Entwickelung und Verwendung der Wärme in Eisenhochöfen verschiedener Dimensionen. Frei übersetzt von P. Tunner. Leipzig 1870.

J. L. Lowthian Bell, Principles of the manufacture of iron and steel, with some notes on the economic conditions of their production. London 1884.

b) Abhandlungen.

F. Lürmann, Ueber die Inbetriebsetzung von Kokshochöfen. Berggeist 1869, S. 551; Kerpely, Bericht über die Fortschritte der Eisenhüttentechnik 1869, S. 116.

L. Merlet, Das Anblasen des Hochofens in Zeltweg. Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen 1874 (Bd. 22), S. 263.

J. Kennedy, Die Inbetriebsetzung des Hochofens A der Edgar Thomson Steel Works. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1880, S. 196.

1) Ueber die Gewinnungskosten der Minette vergleiche „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 682.

2) Sonstige Beispiele der Selbstkosten für die Roheisenerzeugung in verschiedenen Ländern: „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 323 (Alabama); 1896, Seite 476 (Nordamerika); 1898 Seite 635 (Amerika, Europa).

J. Kennedy, Blast-furnace Working. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 8, p. 348.

E. Bellani, Das Anblasen der Kokshochöfen. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1873, S. 25.

Anblasen und Betrieb des Hochofens der Crozer Eisenwerke in Virginia. „Stahl und Eisen" 1885, S. 84.

Anblasen eines Hochofens in Alabama. „Stahl und Eisen" 1889, S. 816.

Füllen und Anblasen eines amerikanischen Hochofens. „Stahl und Eisen" 1890, S. 702.

F. Bicheroux, La mise à feu des hauts-fourneaux. Revue universelle des mines, série 3, t. 33 (1896), p. 175.

Amerikanischer Hochofenbetrieb (Anblasen, Brennstoffverbrauch, Erzeugung, Windmenge u. s. w.). „Stahl und Eisen" 1891, S. 985; aus Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 20, p. 255.

T. F. Witherbee, Notes on two scaffolds at the Cedar Point furnace. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 9, p. 41.

J. P. Witherow, Removing scaffolds in blast-furnaces. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 9, p. 60.

T. F. Witherbee, Removing obstructions from blast-furnace hearths and boshes. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 13, p. 675.

W. J. Taylor, The use of high explosives in the blast-furnace and of a waterspray for cooling in blowing down. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 13, p. 670.

F. Lürmann, Beseitigung von Versetzungen in Hochofengestellen. „Stahl und Eisen" 1886, S. 461.

Büttgenbach, Die Rettung eines Hochofens auf Neusser Hütte. Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1881, S. 23.

Burgers, Einbau eines neuen Schachtes bei gedämpftem Hochofen. Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1879, S. 354.

F. Lürmann, Dämpfen von Hochöfen. „Stahl und Eisen" 1889, S. 991.

Aeltere Mittheilungen über das Dämpfen der Hochöfen. „Stahl und Eisen" 1898, S. 1086.

C. Cochrane, Der Betrieb von Hochöfen von grossen Dimensionen bei hohen Temperaturen mit besonderer Berücksichtigung der Stellung der Formen. „Stahl und Eisen" 1882, S. 434.

Das Hängen der Gichten in den Hochöfen. „Stahl und Eisen" 1892, S. 114, 336, 467, 528, 582.

W. van Vloten, Die Verbrennung im Gestell des Hochofens. „Stahl und Eisen" 1893, S. 26.

K. L. Koch, Das Hängen der Gichten in Hochöfen. „Stahl und Eisen" 1898, S. 744.

G. Bernard, Note sur les serrages dans les hauts-fourneaux. Revue universelle des mines, série 3, t. 35 (1896), p. 64.

W. van Vloten, Die technischen Fortschritte des deutschen Hochofenbetriebes. „Stahl und Eisen" 1895, S. 117.

F. Lürmann, Ueber Schlackentransport. „Stahl und Eisen" 1884, S. 143.

F. Lürmann, Neuere Schlackenwagen. „Stahl und Eisen" 1891, S. 370.

Amerikanische Schlackenwagen. „Stahl und Eisen" 1892, S. 253.

Neue Giess- und Fortbewegungseinrichtungen bei Hochöfen. „Stahl und Eisen" 1897, S. 665.

Ueber Roheisenmasseln für die Giesserei. „Stahl und Eisen" 1898, S. 214.

Zwei neue amerikanische Giess- und Fortbewegungseinrichtungen für Roheisenmasseln. „Stahl und Eisen" 1898, S. 621.

L. Bell, On the use of the caustic lime in the blast-furnace. Journal of the Iron and Steel Institute 1875 II, p. 400.

L. Bell, On the use of caustic lime in the blast-furnace. Journal of the Iron and Steel Institute 1894 II, p. 38; daraus in „Stahl und Eisen“ 1894, S. 1011.

C. Cochrane, Ueber die Erfolge der Verwendung von gebranntem Kalk statt Kalkstein beim Hochofenbetriebe. Aus den Transactions of the Institution of Mechanical Engineers in „Stahl und Eisen“ 1890, S. 29.

C. Cochrane, On the relative merits of limestone and lime in blast-furnace practice. Journal of the Iron and Steel Institute 1898 I, p. 69.

Kosmann, Ueber die Verwendung von Aetzkalk beim Hochofenbetriebe. „Stahl und Eisen“ 1891, S. 311.

R. Åkerman, Ueber die Reduction oxydirten Eisens durch Kohlenoxyd. „Stahl und Eisen“ 1883, S. 149. (Anwendung auf den Hochofenbetrieb, S. 157.)

P. Tunner, Ein Beitrag zur Kenntniss des Hochofenprocesses durch direkte Bestimmungen. Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Bd. 9, S. 280; Bd. 10, S. 491.

P. Tunner, Der mit Holzkohle und leicht reducirbaren Erzen betriebene Hochofenprocess. Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Bd. 21, S. 228.

P. Tunner, Zur Beurtheilung des Werthes von hocherhitztem Winde. Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Bd. 21, S. 345.

F. Kupelwieser und R. Schoeffel, Beiträge zum Studium des Hochofenprocesses durch direkte Bestimmungen. Jahrbuch der österreichischen Bergakademien, Bd. 21, S. 169 und 367.

G. Wepfer, Versuche über den Niedergang der Gichten im Hochofen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1865, S. 398, 425, 440.

L. Bell, On the reduction of ores of iron in the blast-furnace. Journal of the Iron and Steel Institute 1887 II, p. 74.

G. Hilgenstock, Ueber das Verhalten des Phosphors im Hochofen. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 2.

N. Kjellberg, Ueber das Verhalten der Phosphorsäure im Hochofen. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 1011 (aus Jerncontorets Annaler 1892, S. 191).

Rob. Bunsen, Ueber die gasförmigen Produkte des Hochofens und ihre Benutzung als Brennmaterial. Poggendorffs Annalen, Bd. 46 (2. Reihe, Bd. 16), S. 193.

Th. Scheerer und Chr. Lang, Untersuchung der Gichtgase eines norwegischen Eisenhochofens. Poggendorffs Annalen, Bd. 40 (2. Reihe, Bd. 30), S. 489.

L. Rinman und B. Fernquist, Untersuchungen über Zusammensetzung, Pressung und Temperatur der Hochofengase. Berg- und hüttenm. Ztg. 1865, S. 257.

A. Tamm, Researches on the composition of the gases escaping from the Swedish blast-furnaces. Iron, vol. 16, p. 23, 46, 310, 400, 411; vol. 17, p. 22, 58.

A. Jaumain, De la composition et de la température des gaz des hauts-fourneaux. Annales des mines, série 7, tome 20, p. 323.

L. Gruner, Note sur les hauts-fourneaux belges à l'occasion du mémoire de M. Jaumain sur la température et la composition des gaz sortant du gueulard. Annales des mines, série 7, tome 20, p. 336.

F. Lürmann, Ueber die Zusammensetzung und Temperatur der Hochofengase. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1882, S. 266.

Ed. Bellani, Untersuchungen über die Brennbarkeit der Hochofengase. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1876, S. 444.

H. v. Jüptner, Anwendung von Gichtgasanalysen zur Controle des Hochofenganges. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1895, S. 430.

H. Schellhammer, Studien über die Windführung beim Hochofen. Oesterr. Zeitschrift 1882, S. 421.

H. Wedding, Ueber den Hochofenbetrieb mit rohen Steinkohlen. Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preussen, Bd. 19, S. 5.

Anwendung von Steinkohlen beim Hochofenbetriebe. Berggeist 1869, S. 313.

Ferrics selbstkokender Steinkohlenhochofen. Dinglers polyt. Journal, Bd. 201, S. 108 und 515; Berg- und hüttenm. Ztg. 1871, S. 390.

W. Ferrie, Neuerungen an Hochöfen. „Stahl und Eisen" 1882, S. 567.

W. Jones, The present position and prospects of processes for the recovery of tar and ammonia from blast-furnaces. Journal of the Iron and Steel Institute 1885 II, p. 410.

Recovery of ammonia and tar from blast-furnace gases. Engineering and Mining Journal, vol. 45, p. 340.

J. M. Hartmann, Ueber amerikanische Anthracit-Hochöfen. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 489.

E. Heyrowsky, Ueber Verwendung roher Braunkohlen beim Hochofen. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1875, S. 135.

Fr. Kupelwieser, Studien über die Verwendung von Braunkohlen beim Hochofenbetriebe. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1881, S. 260.

P. Tunner, Ueber die Verwendung von Ligniten oder Braunkohlen im Hochofen. „Stahl und Eisen" 1882, S. 426.

F. Friederici, Ueber Verwendung von Braunkohlen im Hochofen. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 1.

A. Enigl, Ueber Mitverwendung von Maschinentorf beim Hochofenbetriebe. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1879, S. 260.

F. Lürmann, Ueber Preis und Qualität von Koks und Kohlen für den Hochofenbetrieb. „Stahl und Eisen" 1884, S. 278.

L. Bell, The use of raw coal in the blast-furnace. Journal of the Iron and Steel Institute 1884, p. 13; in deutscher Bearbeitung in „Stahl und Eisen" 1884, S. 332.

W. Thörner, Beiträge zum Studium von Steinkohlen, Koks und Holzkohlen als Hochofenbrennmaterial. „Stahl und Eisen" 1886, S. 71.

G. Jantzen, Holzkohle und Koks im Hochofenbetriebe. „Stahl und Eisen" 1886, S. 83.

Stöckmann, Ueber Ferromangan. „Stahl und Eisen" 1885, S. 475 (nach einer Abhandlung von A. Pourcel im Génie civil 1885, Nr. 1, 2 und 4).

F. Gautier, Les alliages ferrométalliques; Ferro-Manganèse. Bulletin de la société de l'industrie minérale 1889, p. 851 (enthält Mittheilungen über die Darstellung der Eisenmangane).

W. Mrázek, Ueber stöchiometrische Entwürfe von Eisenhochofen-Beschickungen und Hülfstabellen für dieselbe. Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Bd. 18, S. 282.

W. Mrázek, Schnelle stöchiometrische Methode zum Entwerfen von Eisenhochofen-Beschickungen. Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Bd. 19, S. 375.

H. C. Jenkins, A graphic method for calculating blast-furnace charges. Journal of the Iron and Steel Institute 1891 I, p. 151.

Fr. Toldt, Hochofenschlacken-Berechnung. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1892, S. 15.

B. Platz, Ueber Berechnung des Kalksteinzuschlages und Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen" 1892, S. 2.

S. P. Bjerregaard, The calculation of limestone charges for iron-blast-furnaces. Iron Age, vol. 52, p. 609.

G. Rocour, Étude sur l'équilibre calorifique du haut-fourneau. Revue universelle des mines, série 3, tome 42 (1898), p. 1.

L. Bell, Vergleichende Betriebsresultate bei Holzkohlen- und Kokshochöfen. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 478. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 604.

H. Wedding, Die Wärmeverluste bei Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 1029.

J. Wolters, Étude sur la fabrication de la fonte blanche pour fer fort au moyen des minettes ou minerals oolithiques du Luxembourg. Revue universelle des mines, série 1, tome 39 (1876 I), p. 685; dieselbe Abhandlung in deutscher Bearbeitung von E. F. Dürre in Dinglers polyt. Journal, Bd. 222, S. 329.

E. Windsor Richards, Der heutige Hochofenbetrieb und die Roheisenerzeugung in den verschiedenen Ländern. „Stahl und Eisen“ 1896, S. 568 (aus den Transactions of the Institution of Mechanical Engineers 1896).

VI. Die Nebenerzeugnisse des Hochofenbetriebes und ihre Verwendung.

I. Die Gichtgase.

In Anbetracht des bedeutenden Brennwerthes, welchen die Gichtgase besitzen und wegen der Eigenthümlichkeiten des Hochofenschmelzens nothwendigerweise besitzen müssen, bilden sie, wie schon früher hervorgehoben wurde, ein werthvolles Nebenerzeugniss des Hochofenbetriebes. Die Abhängigkeit der Zusammensetzung der Gichtgase von dem Verlaufe des Hochofenschmelzens, von der Reducirbarkeit der Erze u. s. w. wurde früher erläutert; gewöhnlich bewegt sich die Zusammensetzung des trockenen Gasgemenges innerhalb folgender Ziffern:

	In Raumtheilen	In Gewichtstheilen
Stickstoff	55—65, durchschnittl. etwa 60	54—60, durchschnittl. etwa 58
Kohlenoxyd . . .	20—32, „ „ 24	22—30, „ „ 24
Kohlensäure . . .	6—18, „ „ 12	8—23, „ „ 17
Wasserstoff . . .	1— 6, „ „ 2	0,0— 0,4, „ „ 0,2
Kohlenwasserstoff .	0— 6, „ „ 2	0— 3, „ „ 0,8

(Zusammenstellung einiger Beispiele auf folgender Seite.)

Ausserdem enthalten die Gase stets Wasserdampf, dessen Menge beispielsweise bei dem Hochofen des Eisenwerks Phönix 8,0 Raumtheile oder 5,0 Gewichtstheile, bei dem Hochofen zu Esch 15,4 Raumtheile oder 10,3 Gewichtstheile in 100 Raum- oder Gewichtstheilen des wasserhaltigen Gasgemisches betrug.

Ferner findet sich in allen Gichtgasen mechanisch mitgeführter Staub, dessen Menge 1 bis 40 g in einem Cubikmeter betragen kann, und dessen Zusammensetzung unten Besprechung finden wird.

Von der Gewinnung, Reinigung und Verbrennung der Gichtgase war bereits früher die Rede.

Es lässt sich leicht ermessen, dass, wenn der Kohlensäuregehalt der Gichtgase vor ihrer Benutzung in Kohlenoxyd umgewandelt würde

— etwa durch Hindurchleiten der Gase durch glühende Kohlen in einer Vorrichtung, welche der zur Wassergaserzeugung benutzten (Seite 121) ähnlich sein könnte —, man ein Gasgemenge erhalten würde, welches einen geringeren Stickstoffgehalt als alles Luftgas enthielte und deshalb einen höheren Brennwerth als dieses besitzen würde. Bei Erzeugung des Luftgases führt jedes Gewichtstheil Sauerstoff, welches zur Vergasung des Brennstoffs erforderlich ist, eine bestimmte Menge Stickstoff mit in das Gasgemenge, im Hochofen dagegen entstammt nur ein Theil des gesammten Sauerstoffgehaltes dem zugeführten Winde, ein anderer, nicht unbeträchtlicher Theil wird bei den Reductionsvorgängen aus den Erzen ohne den begleitenden Stickstoff in das Gasgemenge geführt.

Eine Nutzanwendung dieses Umstandes ist bislang nicht gemacht worden. Die Zerlegung der Kohlensäure durch Kohle ($CO_2 + C = 2CO$) erheischt einen Wärmeverbrauch, dessen Deckung nur durch einen Brennstoffaufwand erreichbar ist. Die Kosten des Verfahrens, dessen Durchführung auch besonderer Vorrichtungen bedürfen würde, könnte nur ausnahmsweise durch den erreichbaren Nutzen gedeckt werden.

Beispiele der Zusammensetzung der Gichtgase.

	Raumtheile					Gewichtstheile				
	N	CO	CO_2	H	CH_4	N	CO	CO_2	H	CH_4
Holzkohlenofen zu Vordernberg, auf Weisseisen betrieben (1881) .	56,7	25,5	15,3	1,7	0,8	53,3	23,8	22,4	0,1	0,4
Schwedischer Holzkohlenofen, nach Rinman (berg- und hüttenm. Ztg. 1877, S. 94) . . .	57,3	23,1	14,8	4,3	0,5	55,0	22,1	22,3	0,3	0,3
Cleveländer Kokshochofen, nach Bell (Oesterr. Zeitschr. 1882, S. 483) .	59,8	26,4	11,7	2,1	—	57,4	25,2	17,3	0,1	—
Kokshochofen Nr. II zu Eisenwerk Phönix bei Ruhrort (1875) beim Betriebe auf gewöhnliches Weisseisen, nach Stöckmann (Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, S. 20)	59,0	28,1	10,7	1,7	0,5	56,9	26,9	15,9	0,1	0,2
Ebenda, beim Betriebe auf manganreicheres Roheisen und bei heisserem Gange	62,8	31,0	5,3	0,5	0,4	61,5	30,1	8,1	0,03	0,2
Kokshochofen zu Esch, mit Minette auf graues Roheisen betrieben, nach Gredt („Stahl und Eisen" 1890, S. 593)	59,8	23,5	13,8	0,1	2,2	56,0	21,9	20,2	0,01	1,9

2. Schlacken.

Die chemische Zusammensetzung der Hochofenschlacken und die Beziehungen, welche zwischen dieser und der Beschaffenheit des mit-

erfolgenden Roheisens obwalten, wurden schon früher besprochen und durch Beispiele erläutert.

Vergegenwärtigt man sich, dass eine grosse Zahl Hochöfen annähernd gleiche Gewichtsmengen Roheisen und Schlacke liefern, manche Hochöfen sogar noch mehr Schlacke als Roheisen, während das specifische Gewicht der Schlacke nur ungefähr ein Drittel so gross ist als das des Roheisens, so wird man sich sagen, dass, wenn die Schlacke nur eines einzigen grösseren Hochofens auf die Halde gestürzt wird, ohne Benutzung zu finden, dazu im Laufe der Zeit eine beträchtliche Grundfläche erforderlich sein muss, und dass Eisenwerke mit zahlreichen Hochöfen leicht vor der Unmöglichkeit stehen können, ihre Schlacke in dieser Weise fernerhin unterzubringen.

Dieser Umstand allein schon ist für die Hochofenleute eine genügende Veranlassung, nach irgend einer Verwendung ihrer Schlacke zu suchen; lässt sich diese Verwendung aber in einer solchen Weise erreichen, dass für den Hochofenbetrieb noch ein unmittelbarer Geldgewinn daraus erzielt wird, so vereinigt man das Nützliche mit dem Nothwendigen und befördert das Gedeihen des Betriebes.

Die Verwendungsarten der Hochofenschlacke, welche im Laufe der Zeit entstanden, sind ziemlich mannigfaltig.

Verwendung zu Strassen- und Dammbauten.

Diese Verwendungsart ist einfach, und wo die Beschaffenheit der Schlacke eine solche Verwendung ermöglicht und der Bedarf an solchem Baumaterial vorliegt, ist sie sehr üblich. Für Eisenbahnbauten werden in manchen Gegenden grosse Mengen von Hochofenschlacken verbraucht.

Vorzugsweise eignen sich steinige, nicht allzu kalkreiche Schlacken hierfür, welche der Zersetzung unter dem Einflusse der Atmosphärilien wenig unterworfen sind. Ein hoher Thonerdegehalt ist für diese Verwendung günstig. Nach der Beschaffenheit des auszuführenden Baues ist die Form, in welcher die Schlacke hierbei zur Verwendung kommt, verschieden. In einzelnen Fällen benutzt man ohne Weiteres die Blöcke, zu denen die Schlacke in den Schlackenwagen erstarrt. Bei Dammbauten am Teesflusse in Cleveland stellte man in dieser Weise Blöcke mit einem Gewichte bis zu $3^1/_2$ t her, welche auf dem Schlackenwagen selbst bis zum Damme — einer Entfernung von etwa 10 km — gefahren wurden. Häufiger wird die Schlacke zerschlagen oder auf einer Steinbrechmaschine (Seite 227) zu faustgrossen Stücken zerbrochen. In jedem Falle ist ein möglichst grosser räumlicher Inhalt des Schlackenblockes zur Verzögerung der Abkühlung wünschenswerth; je langsamer die Erkaltung vor sich geht, desto mehr verliert die Schlacke an Sprödigkeit. Langsam erkaltete Schlacke pflegt die Festigkeit des Basaltes zu besitzen, mitunter noch grössere.

Schlackensand.

Dieses Nebenerzeugniss des Hochofenbetriebes lässt sich zu mancherlei Zwecken vortheilhaft verwenden. Wo ein natürlich vorkommender Sand von geeigneter Beschaffenheit fehlt, benutzt man den Schlackensand als Material für Fusswege und Pflasterungen; bei der

Mörtelbereitung bildet er einen vorzüglichen Zusatz zum gelöschten Kalk an Stelle der sonst hierbei gebräuchlichen Zusätze; in noch anderen Fällen dient er als Material für Ziegeldarstellung nach dem unten beschriebenen Verfahren.

Die Bereitung des Schlackensandes, d. h. die Zerkleinerung der Schlacke, wird in verschiedener Weise bewirkt.

Bei den Holzkohlenhochöfen, welche auf graues Roheisen für den unmittelbaren Guss betrieben werden, pflegt die erfolgende zähe Schlacke eine nicht unbeträchtliche Menge Eisenkörner eingeschlossen zu enthalten. Man verbindet in diesem Falle die Zerkleinerung der Schlacke mit der Aufgabe, jenes Eisen wieder zu gewinnen, und bedient sich dazu eines Pochwerkes, welches mit einer Wäsche verbunden ist. Die Pochsohle befindet sich in einem Kasten, dessen eine schmale Seite niedriger als die übrigen ist und nur etwa 10 cm oder weniger über die Pochsohle vorragt. Vor diesem Kasten befindet sich ein flaches Gerinne, welches schliesslich in einen noch etwas flacheren Graben ausmündet. Einzelne flache Querschwellen in dem Gerinne, in derselben Weise angeordnet wie bei den auf Seite 228 beschriebenen Eisensteinwäschen, dienen zum Zurückhalten der Eisenkörnchen. Die Schlackenstücke werden, wenn sie sehr gross sind, zunächst durch Hämmer in kleinere Stücke zerschlagen, und diese werden dann unter dem Pochwerke vollends zerkleint. Während des Pochens lässt man von einem höher liegenden Gerinne aus Wasser durch den Kasten des Pochwerkes fliessen, welches die feineren Theilchen mit fortnimmt, die gröberen Stücke und die ausgepochten Eisenkörner aber zurücklässt. In dem Gerinne und Graben setzt sich nun der Schlackensand ab; zunächst fallen die etwa zufällig mitgerissenen Eisenkörner nieder, dann der gröbere Sand, zuletzt der feinere, so dass man auf diese Weise im Stande ist, Sandsorten von verschiedener Korngrösse zu trennen.

Die ausgewaschenen Eisenkörner, welche man Wascheisen nennt, werden gesammelt und in den meisten Fällen, da sie dem Rosten stark unterworfen sind, beim Hochofen wieder aufgegeben. Auch bei kleineren Hochöfen ist die Menge des im Verlaufe eines Jahres erfolgenden Wascheisens oft nicht unbeträchtlich.

Die Schlacken aller Kokshochöfen und der auf Weisseisen betriebenen Holzkohlenhochöfen, welche im dünnflüssigen Zustande aus dem Ofen kommen und demnach nur unbedeutende Mengen eingeschlossener Eisenkörnchen enthalten können, pflegt man, um die Zerkleinerung zu erleichtern, zu körnen (granuliren), d. h. durch Einleiten unmittelbar aus der Schlackenrinne des Hochofens in bewegtes Wasser zu zertheilen. Die Schlacken nehmen dabei die Form dünner unregelmässig geformter Blättchen oder Körnchen von einigen Millimetern Durchmesser an, welche für die meisten Zwecke schon in diesem Zustande benutzbar sind, jedenfalls mit Leichtigkeit eine weitere Zerkleinerung durch Zermahlen oder dergleichen zulassen. Gewöhnlich benutzt man das von den Formen kommende Kühlwasser und leitet die Schlacke sofort in die Rinne, welche das Kühlwasser abführt. In einem tiefer stehenden Behälter wird dann die Schlacke gesammelt, während das Wasser weiter fliesst.

Wo grosse Mengen Schlacken gekörnt werden, pflegt man mit dieser Vorrichtung eine andere zum Herausheben der gekörnten Schlacke zu verbinden. Ein Becherwerk schöpft vom Boden des Behälters ununterbrochen die Schlacke empor und schüttet sie in einen seitlich stehenden, auf Schienen laufenden Wagen. Auch weniger einfache Einrichtungen sind mitunter an Stelle des Becherwerkes benutzt worden.

Schlackenwolle.

Wenn man in fliessende Hochofenschlacke einen Dampf- oder Windstrahl leitet, wird sie in einzelne, feine Körnchen zertheilt, deren jedes einen mehr oder minder langen Schlackenfaden, wie einen Schweif, nach sich zieht. Diese Fäden bilden die Schlackenwolle.

Auch das Verfahren der Herstellung von Schlackenwolle ist demnach einfach. Unter die Rinne, aus welcher die Schlacke in die Wagen fällt, braucht man nur ein Dampfrohr mit einer Mündung von 6 bis 8 mm Weite zu legen, so dass die niederfallende Schlacke von dem Dampfstrahle getroffen wird. In einer dahinter stehenden, nach der Seite des Rohres zu offenen Kammer aus Eisenblech von mindestens 2 m Länge, in deren Decke eine Abzugsöffnung für den Dampf angebracht ist, kann die Schlackenwolle gesammelt werden. Theilt man die Kammer durch ein wagerechtes Blech in eine untere und eine obere Hälfte, so sammeln sich die schweren Körnchen zu unterst, und in der oberen Abtheilung findet sich die feinere Wolle. Noch besser als Eisenblech für die Kammer eignet sich Drahtgewebe, an welchem die Wolle leicht haftet, und welches zugleich dem Dampfe den Durchgang verstattet.[1])

Die Schlackenwolle ist ein schlechter Wärmeleiter und fand deshalb vor einigen Jahrzehnten, vornehmlich in den siebenziger Jahren dieses Jahrhunderts, häufige Benutzung als Verpackungsmaterial für Gegenstände, welche stark erhitzt werden und vor Wärmeverlusten geschützt werden müssen, Leitungsröhren für Dampf, heissen Wind u. s. w. Eine üble Eigenschaft der Schlackenwolle ist jedoch ihre Zersetzbarkeit unter dem Einflusse von Feuchtigkeit und Luft. In besonders starkem Maasse sind die kalkerde- und schwefelreichen Schlacken mancher Kokshochöfen dieser Zersetzung unterworfen (hinsichtlich des chemischen Vorganges bei der Zersetzung des Schwefelcalciums vergleiche Seite 185). Aus der ursprünglich wolligen Masse wird durch Entstehung von Carbonaten und Sulfaten des Calciums mitunter ein völlig harter, steinartiger Körper; wo schwefelreiche Schlackenwolle mit metallischem Eisen in Berührung war, entsteht Schwefeleisen, welches allmählich in Eisenvitriol umgewandelt wird, so dass eine völlige Zerstörung des eisernen Gegenstandes die Folge davon sein kann. In bewohnten Räumen aber, wo man bisweilen Schlackenwolle als Fussbodenfüllung zu benutzen versucht hat, macht der sich entwickelnde Schwefelwasserstoff den Aufenthalt unerträglich.

1) Abbildung einer solchen aus Drahtgewebe hergestellten Kammer findet der Leser im Journal of the Iron and Steel Institute 1877. Im Uebrigen ist die Einrichtung sehr einfach und wird kaum einer besonderen Abbildung bedürfen.

Dieses nachtheilige Verhalten mancher Schlackenwolle macht es erklärlich, dass ihre Anwendung gegen früher erheblich abgenommen hat und ihre Darstellung nur noch vereinzelt betrieben wird. Vielleicht ist man, abgeschreckt durch einzelne Misserfolge, auch in der abfälligen Beurtheilung der Anwendbarkeit der Schlackenwolle zu weit gegangen. Schlackenwolle, aus schwefelarmer und nicht allzu kalkreicher Schlacke erzeugt, wird immerhin ein geeignetes und billiges Material für die oben erwähnten Zwecke bleiben, denn ihre Wärmeleitungsfähigkeit ist sehr gering. Nach Versuchen von G. E. Emery leitet die Schlackenwolle die Wärme nur $^1/_5$ bis $^1/_6$ so gut als atmosphärische Luft.[1])

Vorzugsweise dürfte die Schlacke von Holzkohlenhochöfen wegen ihres geringeren Schwefel- und grösseren Kieselsäuregehaltes zur Darstellung guter Schlackenwolle sich eignen.

Darstellung von Cement (hydraulischem Mörtel).

Schon oben wurde erwähnt, dass Schlackensand, durch Körnung hergestellt, ein vortreffliches Material als Zusatz bei der Mörtelbereitung an Stelle anderer für diesen Zweck benutzter Körper bilde. Man mischt den gelöschten Kalk mit drei bis fünf Theilen Schlackensand, und ein solcher Mörtel besitzt häufig bei entsprechender Beschaffenheit der Schlacke hydraulische Eigenschaften, d. h. die Fähigkeit, auch unter Wasser zu erhärten. Versuche, welche bereits in den sechziger Jahren über die Druckfestigkeit gewöhnlichen, d. h. mit scharfem Mauersande oder auch mit Mauersande und rheinischem Trass zubereiteten Mörtels und Schlackenmörtels angestellt wurden, ergaben, dass die Festigkeit des letzteren beim Erhärten an der Luft 9- bis 16mal so gross als die des nur mit Mauersand bereiteten Mörtels, doppelt bis dreifach so gross als die des mit Mauersand und rheinischem Trass bereiteten Mörtels war, während beim Erhärten in feuchtem Erdreich die Festigkeit des Schlackenmörtels doppelt bis vierfach so gross war als bei Zusatz von rheinischem Trass und Mauersand.[2])

Obschon der in solcher einfachen Weise bereitete Mörtel zunächst nur als Luftmörtel Verwendung fand, legten doch die gemachten Beobachtungen die Vermuthung nahe, dass es möglich sein werde, durch entsprechende Vervollkommnung des Verfahrens wirklichen, dem Puzzolancement gleichwerthigen hydraulischen Mörtel zu gewinnen.[3])

Diese Erwartung hat sich voll bestätigt, und eine ziemlich grosse Zahl von Fabriken beschäftigt sich mit der Herstellung des Schlackencementes.

Nicht alle Schlacken eignen sich jedoch gleich gut für diese Verwendung. Wenig geeignet sind sehr kieselsäurereiche Schlacken; kalk-

1) Engineering and Mining Journal, vol. 32, p. 219; Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1881, Seite 615.

2) Zeitschr. d. Ingenieur- und Architekten-Vereines für das Königreich Hannover, Band 13 (1867), Seite 303.

3) Puzzolancement wird durch Mischen gelöschten Kalkes mit Puzzolanerde, Trass oder Santorin dargestellt. Schlackencement ist als eine Art des Puzzolancementes zu betrachten, bei welcher jene Zusätze durch entsprechend vorbereitete Hochofenschlacke ersetzt sind.

erdereiche Schlacken, welche nicht zu arm an Thonerde sind, bewähren sich am besten. Schlacken von Holzkohlenhochöfen pflegen zu arm an Kalkerde zu sein, um sich gut verwenden zu lassen. Nach Tetmajer sind alle solche Schlacken von der Benutzung ausgeschlossen, bei welchen das Verhältniss des Gewichtes der Kalkerde zu dem der Kieselsäure nicht grösser als 1,0 ist; als die geeignetsten Schlacken bezeichnet er diejenigen, in welchen sich Kalkerde zur Kieselsäure und Thonerde ungefähr wie 46 : 30 : 16 verhalten.[1]) Detienne bezeichnet als ein geeignetes Verhältniss:[2])

SiO_2	27	bis	32	v. H.
Al_2O_3 . . .	12	„	22	„
CaO	55	„	49	„
MgO . . .	1	„	1,5	„

Ein mässiger Schwefelgehalt ist ohne Nachtheil.

Die Schlacke wird zunächst durch Einleiten in Wasser gekörnt, wie oben beschrieben wurde. Das Körnen ist nicht nur das einfachste Verfahren der Zerkleinerung, sondern es ist auch wegen der chemischen oder physikalischen Aenderungen, welche die Beschaffenheit der Schlacke hierbei erleidet, unumgänglich. Schlackenpulver, durch Zerkleinerung grösserer, langsam erkalteter Schlackenstücke gewonnen, ist für Darstellung von Schlackencement nicht oder doch weniger gut brauchbar, wie durch Versuche festgestellt worden ist.[3]) Je dünnflüssiger die Schlacke, je kälter das benutzte Wasser ist, desto günstiger soll sich die gekörnte Schlacke verhalten.

Die gekörnte Schlacke wird zunächst getrocknet, sei es auf eisernen Platten, sei es in weniger einfachen, aber leistungsfähigeren Vorrichtungen. Mitunter bedient man sich eines um eine wagerechte Achse sich drehenden Hohlcylinders, in welchem die Schlacke durch schraubenförmig angeordnete Bleche einem heissen Luftstrome entgegengeführt wird. Eine Erhitzung bis selbst zur beginnenden Rothgluth beeinträchtigt nicht die Brauchbarkeit der Schlacke; höhere Temperatur ist schädlich.

Die trockene Schlacke wird in irgend einer geeigneten Vorrichtung staubfein gemahlen, um dann mit dem inzwischen ebenfalls vorbereiteten Kalk vermischt zu werden. Der Kalk darf nur trocken, d. h. mit nur so viel Wasser gelöscht werden, dass er zu Staub zerfällt. Ein bis zwei Tage nach diesem Löschen wird der Kalk gesiebt und dann dem Schlackenmehl zugesetzt. Auf 100 Theile Schlacke kommen 15 bis 30 Theile Kalk, je nachdem die Schlacke kalkreicher oder kalkärmer war; mitunter auch wohl noch etwas mehr. Auf den Kalkerdegehalt der Schlacke bezogen beträgt der Kalkzusatz die Hälfte bis zur gleichen Menge.

Zum Mischen pflegt man sich einer Kugelmühle zu bedienen, in welcher ein nochmaliges Mahlen des Gemisches stattfindet. Ein hoher Feinheitsgrad ist wichtig für die Güte des Erzeugnisses.

1) Vergleiche die unter Litteratur genannten Abhandlungen; unter anderen auch: Notizblatt des Ziegler- und Kalkbrenner-Vereins 1887, Nr. 2.

2) Vergleiche dessen Abhandlung unter Litteratur.

3) Tetmajer a. a. O.; ebenso Detienne.

Als Beispiel der Zusammensetzung eines guten Schlackencements führt Prost[1]) nachstehende Analyse eines Schlackencementes von Donjeux an:

Sand	0,25	v. H.
Kieselsäure	23,85	„
Thonerde	13,95	„
Eisenoxyd	1,10	„
Kalkerde	51,40	„
Magnesia	1,95	„
Schwefelsäure	0,45	„
Glühverlust	7,05	„

Auch zur Darstellung von Portlandcement lässt sich manche Hochofenschlacke gut benutzen.[2]) Die Zusammensetzung des Portlandcementes ist ungefähr folgende:

Kalkerde	55—63,	durchschnittlich	60	v. H.
Thonerde	6—10,	„	7,5	„
Kieselsäure	22—26,	„	24	„

Daneben kleine Mengen Eisenoxyd, Alkalien und andere Beimengungen.

In allen Fällen ist daher auch für diese Verwendung eine Anreicherung des Kalkerdegehaltes und mitunter eine Anreicherung des Thonerdegehaltes erforderlich. Die verschiedenen Bestandtheile werden im feingemahlenen Zustande gemischt und dann ebenso wie bei der gewöhnlichen Darstellung des Portlandcementes behandelt, d. h. zu Steinen geformt, gebrannt und gemahlen. Gut eignen sich für diesen Zweck die thonerdereichen Schlacken mancher englischer Hochöfen (Seite 560); da jedoch das Verfahren kostspieliger ist, als die oben beschriebene Herstellung von Puzzolancement, kommt es nur selten in Anwendung.

Schlackenziegeln.

Die Herstellung von Schlackenziegeln, d. h. geformter, für bauliche Zwecke an Stelle gewöhnlicher Thonziegeln bestimmter Steine, ist in den zahlreichen Fällen, wo die erforderlichen Vorrichtungen dafür einmal vorhanden sind, eine lohnende Verwendung der Hochofenschlacken, sofern nicht etwa örtliche Verhältnisse, z. B. ein ausnahmsweise niedriger Preis anderer Bausteine, der Verwendung der Ziegeln hinderlich sind. Auch die Zusammensetzung der Schlacke muss dafür maassgebend sein, ob diese überhaupt für die genannte Verwendung sich eigne.

Die Verfahren zur Herstellung der Schlackenziegeln sind verschieden. Scheinbar am einfachsten würde man, wie es auch mitunter geschieht, Ziegeln durch Eingiessen der flüssigen Schlacke in Formen erhalten. Hierbei kommt aber in Betracht, dass die Schlacke um so spröder wird, je rascher man sie abkühlt. Auch wenn man den einzelnen Ziegeln die vielfache Grösse eines gewöhnlichen Thonziegels

1) Vergleiche Litteratur.

2) Die gewöhnliche Darstellung des Portlandcementes geschieht durch Mischen gemahlenen Kalksteines oder Kalkmergels und Thones in entsprechenden Gewichtsverhältnissen, Formen von Ziegeln, welche bis zum Sintern gebrannt und dann zu Pulver gemahlen werden.

geben wollte, würde doch leicht ein Zerspringen eintreten, da infolge der rascheren Abkühlung der äusseren Theile Spannung entsteht. Zur Vermeidung des Uebelstandes muss man die glühenden geformten Steine in Temperöfen bringen, in welchen sie, wie Glaswaaren, einer ganz allmählichen Abkühlung während einiger Tage unterworfen werden. Hierdurch aber wird die Herstellung vertheuert.

Auf manchen Eisenwerken mischt man, um das Zerspringen der Steine zu verhüten, die noch flüssige Schlacke mit Körpern, welche ähnlich wie die Magerungsmittel bei der Verarbeitung des Thones wirken: Koks- oder Holzkohlenlösche, groben Quarzkörnern, Ziegelstücken oder dergleichen. Indem diese Körper die Menge der Schlacke verringern, welche zur Ausfüllung der Form nothwendig ist, führen sie die Schwindung beim Abkühlen auf ein geringeres Maass zurück; sie vermindern auch unmittelbar die grosse Sprödigkeit des Schlackenkörpers, indem sie diesen durch ihre Einlagerung gewissermaassen auflockern, die Entstehung von Sprüngen erschweren und die Ausdehnung der entstandenen Risse auf ein kürzeres Maass beschränken. Das Einmischen jener Körper geschieht mit Hülfe einer Schaufel in der Schlackenrinne, durch welche die Schlacke in die Gussform einläuft. Letztere wird aus vier gusseisernen Seitenplatten hergestellt, welche sich leicht aus einander nehmen lassen, senkrecht auf einer gusseisernen Bodenplatte stehen und durch einen aufgelegten Deckel, der nach Bedürfniss durch Gewichtsstücke beschwert werden kann, geschlossen werden. Auch bei diesem Verfahren ist eine möglichst langsame Abkühlung der Schlackensteine von Vortheil. Sehr kalkreiche, an der Luft verwitternde Schlacken sind für das beschriebene Verfahren nicht geeignet. Am besten eignen sich dafür jene mässig kalkreichen und deshalb dünnflüssigen, nicht allzu thonerdearmen Schlacken, welche auch im rohen Zustande als Bausteine Verwendung finden.

Auch die sehr kieselsäurereichen Schlacken mancher Holzkohlenhochöfen, welche überhaupt nicht dünn fliessen, vor der völligen Erstarrung aber einen weichen, bildsamen Zustand durchlaufen (saigere Schlacken), gestatten nicht eine derartige Verarbeitung. In folgender Weise jedoch lassen sich auch aus diesen brauchbare Ziegeln herstellen. Die halbflüssige Schlacke wird, wenn sie mit der Schaufel aus dem Herde des Ofens entfernt ist, auf einer eisernen, als Bodenbelag dienenden Platte oberflächlich abgekühlt, so dass ein formloser Schlackenkuchen entsteht, der zwar noch bildsam, äusserlich aber doch schon halb erstarrt ist. In diesem Zustande knetet man nun die Schlacke mit der Schaufel und unter Benutzung einer hölzernen Stange in die bereit stehende, aus vier gusseisernen Seitenplatten auf gusseiserner Bodenplatte bestehende Form, indem man Vorsorge trifft, dass die schon am meisten abgekühlten Stellen des Schlackenklumpens in die Mitte der Form gedrückt werden, die heisseren Theile an die Wände kommen. Solcherart erzielt man eine gleichmässige Abkühlung und vermeidet das Zerspringen. Derartige Ziegel besitzen, für Wohngebäude, Fabrikräume und dergleichen benutzt, eine ausreichende Haltbarkeit; im Freien aber der Einwirkung starken Frostes ausgesetzt, ehe sie eingemauert wurden, zerspringen sie leicht und müssen deshalb möglichst bald verwendet werden.

In allen den bisher besprochenen Fällen empfiehlt es sich, für die Schlackenziegeln grössere Abmessungen als für gewöhnliche Ziegeln zu nehmen. Theils verzögert man dadurch die Abkühlung, theils spart man bei der Verwendung Arbeit und Mörtel. Damit aber die Möglichkeit nicht ausgeschlossen sei, gewöhnliche Ziegelsteine neben den Schlackenziegeln und in Verband mit ihnen zu verwenden, was in Rücksicht auf die grössere Sprödigkeit der Schlackenziegeln an einzelnen, der Beschädigung vorzugsweise unterworfenen Stellen der Gebäude (Ecken, Thür- und Fensteröffnungen u. s. w.) zweckmässig sein kann, empfiehlt es sich, die Abmessungen der Schlackenziegeln so zu wählen, dass jede einzelne in einem einfachen Verhältnisse (doppelt, dreifach, vierfach) zu der betreffenden Abmessung der gewöhnlichen Ziegeln einschliesslich der Mörtelfuge steht.

Häufiger als die hier erwähnten Verfahren ist das nachstehend beschriebene in Anwendung. Es eignet sich zwar nur für die Verarbeitung kalkreicherer Schlacken und ist deshalb vornehmlich in Verbindung mit dem Kokshochofenbetriebe eingeführt,[1]) liefert aber Erzeugnisse von ungleich höherem Werthe als jene älteren Verfahren. Es wurde im Anfange der sechziger Jahre durch Lürmann auf der Georgs-Marienhütte bei Osnabrück ausgebildet; später entstand für den umfangreicheren Betrieb eine grössere Fabrik in Osnabrück, welche das Material für die Ziegeldarstellung von den Georgs-Marienhütter Hochöfen bezog, und seitdem ist das Verfahren bei zahlreichen anderen Hochofenwerken zur Anwendung gekommen.

Die Schlacke wird zunächst in der oben beschriebenen Weise durch Einleiten in fliessendes Wasser gekörnt, also in Schlackensand verwandelt. Dieser Schlackensand dient ohne Weiteres als Material für Herstellung gewöhnlicher Mauerziegeln; für Ziegeln jedoch, von denen man ein sehr vollendetes Aeussere verlangt, wird er fein gemahlen. Alsdann mischt man ihn im noch feuchten Zustande mit gebranntem, ungelöschtem Kalke in einem Verhältniss, welches theils von der chemischen Zusammensetzung, insbesondere dem Kalkerdegehalte, theils auch von den Ansprüchen abhängt, welche an die Festigkeit des fertigen Steines gestellt werden. Nach Lürmann[2]) erfordern 1000 Stück Schlackenziegeln von deutscher Normalgrösse ($250 \times 150 \times 65$ mm) 3000 bis 3500 kg gekörnte Schlacke mit 25 bis 30 v. H. Wassergehalt und 275 bis 350 kg gebrannten Kalk. Auf 100 kg Schlacke kommen demnach 9 bis 10 kg gebrannten Kalk.[3]) Ein Zusatz von Wasser ist nicht erforderlich, da die gekörnte Schlacke mehr Wasser mitzubringen pflegt, als für die Bindung nothwendig ist. Das Mischen der Schlacke mit dem Kalk geschieht in einer geeigneten Maschine.

Die Mischung von Kalk und Schlacke kommt nun in eine gusseiserne, mit Stahlplatten ausgelegte Form, welche die Abmessungen des herzustellenden Ziegels besitzt, und wird hier einem kräftigen Drucke

1) Nach Lürmann eignen sich dafür am besten Schlacken, welche bei der Erzeugung von gaarem Thomas- oder Puddelroheisen gefallen sind; ganz unbrauchbar sind Schlacken vom Rohgange („Stahl und Eisen“ 1897, Seite 997).

2) „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 998.

3) 1 cbm gekörnte Schlacke wiegt 550 bis 750 kg; 1000 Ziegeln erfordern also 5 bis 6 cbm Schlacke. 1 cbm gebrannter Kalk wiegt ungefähr 1000 kg.

ausgesetzt. Für den Betrieb dieser Presse pflegt Dampfkraft benutzt zu werden, da Handarbeit nicht im Stande ist, den zur Erzielung grosser Festigkeit erforderlichen Druck hervorzubringen, auch für grosse Erzeugungen zu kostspielig ausfallen würde. Die Presse bewirkt selbstthätig die Zuführung der Schlacke in die Form und das Ausheben des gepressten Ziegels. Auf einer Presse können in zehnstündiger Schicht 8000 Ziegeln geformt werden.[1])

Die gepressten Ziegeln werden zum Zwecke der Erhärtung unter einem Dache der Einwirkung der Luft ausgesetzt. Nach 6 bis 8 Tagen bringt man sie in's Freie, um für neu gefertigte Ziegeln Platz zu machen, und nach 5 bis 6 Wochen sind die Ziegeln steinhart, für den Gebrauch fertig.

Vor den gebrannten Thonziegeln besitzen die nach diesen Verfahren gefertigten Schlackenziegeln mancherlei Vorzüge. Die aus gekörnter (nicht gemahlener) Schlacke hergestellten Ziegeln sind leichter als Thonziegeln bei ungefähr gleicher Festigkeit; die aus gekörnter und gemahlener Schlacke hergestellten sind zwar ebenso schwer als gebrannte Thonziegeln, aber fester. Versuche, in den siebenziger Jahren mit verschiedenen Ziegeln angestellt,[2]) ergaben als Bruchbelastung auf 1 qcm:

	beim Beginn des Reissens	bei völliger Zerstörung
Osnabrücker Schlackenziegeln aus gekörnter Schlacke	$92,_4$	$110,_5$
Siegener Schlackenziegeln aus gekörnter Schlacke .	$116,_2$	$148,_3$
Siegener Schlackenziegeln aus gekörnter und gemahlener Schlacke	$144,_9$	$186,_2$
Siegener gebrannte Thonziegeln	$58,_9$	$90,_9$
Dergl. hartgebrannte	$84,_6$	$97,_8$
Dergl. ausgesuchte	$95,_2$	$117,_2$
Osnabrücker gewöhnliche Thonziegeln	$67,_9$	$87,_9$
Dergl. hartgebrannte	$89,_0$	$107,_3$

Andere Versuche über die Festigkeit der Schlackenziegeln ergaben Bruchbelastungen von 129 bis 155 kg auf 1 qcm.[3]) Nach Lürmann zeigen gut erhärtete Mauersteine aus gekörnter Hochofenschlacke bei 80 bis 92 kg Belastung auf 1 qcm Risse und werden bei 92 bis 110 kg Belastung zerstört. Dagegen besassen Schlackenziegeln, die mit der Handpresse gefertigt waren, nur eine Festigkeit von 31 kg beim Beginne des Reissens und $32,_1$ kg bei völliger Zerstörung.

Mit dem Alter der Schlackenziegeln wächst ihre Festigkeit ebenso wie diejenige ähnlicher Körper (Mörtel).

Die Porigkeit und Durchlässigkeit (Permeabilität) der Schlackenziegeln ist nach Versuchen von Prof. Pettenkofer grösser als die der Thonziegeln, welcher Umstand bei ihrer Verwendung für Wohngebäude nicht unwichtig ist. Unter gleichem Drucke liessen trockene Schlackenziegeln die vier- bis fünffache Menge Luft hindurch als Thonziegeln.

Die gut erhärteten Schlackenziegeln ertragen ziemlich starke Erhitzungen (angeblich bis zur dunkelen Rothgluth), ohne zerstört zu werden.

1) Die Einrichtung dieser Steinpressen im Einzelnen ist nicht überall gleich. Für die meisten deutschen Werke lieferte die Firma Brück, Kretschel & Co. in Osnabrück die Pressen.

2) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure, Band 19, Seite 186.

3) Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1891, Seite 350.

Setzt man der gemahlenen und mit Kalk vermischten Schlacke noch färbende Körper zu, so lassen sich Nachahmungen natürlich vorkommender Gesteine erzeugen. Man fertigt bisweilen Nachahmungen von Marmor, Diabas und anderen Gesteinen, schleift und polirt die erhärteten Gegenstände und benutzt sie für bauliche und andere Zwecke (Verkleidungen, Grabdenkmäler, Tischplatten und dergl. mehr).

Glasdarstellung.

Bei der Aehnlichkeit, welche die Zusammensetzung mancher für gewöhnliche Zwecke benutzten Gläser, insbesondere des sogenannten Flaschenglases, mit der Zusammensetzung der Hochofenschlacken besitzt, liegt der Gedanke nahe, die letzteren unter Anwendung entsprechender Zusätze für die Glasdarstellung zu verwenden. Die Zusammensetzung des Flaschenglases ist ungefähr folgende:

Kieselsäure	45—60 v. H.
Kalkerde	18—28 „
Magnesia	0— 7 „
Thonerde	6—12 „
Alkali	2— 7 „
Eisenoxydul	2— 6 „

und es bedarf deshalb oft nur geringer Zusätze, vornehmlich von Kieselsäure und Alkalien, zur Hochofenschlacke, um eine gleiche Zusammensetzung zu erzielen; manche Holzkohlenhochofenschlacken stimmen in ihrer Zusammensetzung schon ziemlich genau mit jener überein und erstarren in dünneren Querschnitten thatsächlich mit allen Merkmalen grünlichen Glases. Einige Hochöfen Grossbritanniens sollen für mehrere Glasfabriken das Material liefern, welches aus einer Schlacke mit 38 v. H. Kieselsäure besteht.[1]) In dem Schmelzherde der Glasfabrik wird die Schlacke mit Alkalien und Sand, färbenden und entfärbenden Materialien, je nach Beschaffenheit des herzustellenden Glases, versetzt.

3. Gichtschwamm.

Der Entstehung dieses auch zinkischer Anbruch oder Ofenbruch genannten Körpers wurde bereits mehrfach gedacht. Sie beruht auf der Reduction und Verflüchtigung von Zink in dem unteren Theile der Hochofens, welches dann bei seinem Aufsteigen durch den an Kohlensäure und Wasserdampf immer mehr sich anreichernden Gasstrom allmählich wieder oxydirt wird und nun in einer gewissen Entfernung unterhalb der Gicht sich ringsum an den Wänden festsetzt, hier einen Ring bildend, dessen Stärke mehr und mehr zunimmt. Bricht man den Gichtschwamm los, so findet man einen Körper von graugrüner Farbe und schiefrigem Gefüge, dessen Spaltungsflächen parallel den Ofenwänden liegen. Die Analyse zeigt vorwiegend Zinkoxyd; daneben Eisenoxydul, mitunter etwas metallisches Blei und eingemengten Sand. Beispiele der Zusammensetzung sind folgende:

1) Zeitschr. des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1877, Seite 407.

	I	II
SiO_2	3,07	—
Mn_3O_4	0,29	—
Fe_2O_3	3,73	3,00
P_2O_5	0,32	—
SO_3	0,24	—
Al_2O_3	0,47	—
CaO	2,35	—
PbO	—	1,60
Pb	—	1,40
PbS	—	1,60
ZnO	90,23	91,60
Sand	—	0,80

I ist Gichtschwamm aus einem Luxemburger Hochofen, nach Blum („Stahl und Eisen“ 1897, Seite 985).

II ist Gichtschwamm aus dem Hochofen zu Treveray, nach Ebelmen (Trav. Scient. I p. 304; daraus in Percy-Wedding Eisenhüttenkunde, Abth. 2, Seite 760).

Die Stelle, wo im Hochofen der Gichtschwamm gefunden wird, ist von der Höhe des Ofens und von der Gichttemperatur abhängig und befindet sich meistens 1 bis 2 m unter der Gicht.

Damit nicht durch den angesetzten Gichtschwamm der Ofenquerschnitt allzu sehr verengt werde, und hauptsächlich auch, damit nicht grössere Mengen des Gichtschwammes sich von selbst ablösen, mit der Beschickung nach unten gehen und nachtheilig auf den Ofengang und die Roheisenbeschaffenheit einwirken (Seite 527), ist es bei Oefen, welche zinkreiche Erze verarbeiten, nothwendig, von Zeit zu Zeit den Gichtschwamm loszubrechen und durch die Gicht aus dem Ofen zu entfernen. Das hierbei angewendete Verfahren wurde schon auf Seite 516 beschrieben.

Der Gichtschwamm wird an die Zinkhütten zur Verarbeitung auf metallisches Zink geliefert. Im Jahre 1897 wurden von 38 im Betriebe befindlichen oberschlesischen Hochöfen 839 t Gichtschwamm geliefert.

4. Blei.

Des Verfahrens, durch welches bei Hochöfen, welche bleiische Erze verhütten, das Blei gewonnen werden kann, wurde bereits mehrfach gedacht (Seite 341, 414); auch dass dieses Blei silberhaltig zu sein pflegt, wurde erwähnt. Im Jahre 1897 erfolgten in den Hochöfen Oberschlesiens 506 t silberhaltiges Blei.

5. Gichtstaub.

An den kälteren Theilen der Gicht, in den Gasleitungsröhren, in den Winderhitzern, in den Zügen der Dampfkesselöfen setzt sich ein weisslicher oder gelblicher, staubförmiger Beschlag ab, welcher aus mechanisch mitgerissenen, theilweise ursprünglich flüchtigen Körperchen besteht. Manche dieser Körperchen waren zweifellos in anderer Form in dem Gasstrome als in dem abgelagerten Staube enthalten und wurden erst durch Oxydation oder sonstige chemische Einwirkungen umgewandelt. Die Vorrichtungen, welche angewendet werden, um diesen Staub, wenn seine Menge beträchtlich ist, zur Ablagerung zu bringen, haben auf Seite 442 bereits Besprechung gefunden.

Nicht nur die Menge, sondern auch die chemische Zusammensetzung des Gichtstaubes zeigt bei verschiedenen Hochöfen Abweichungen. Regelmässig enthält er Kieselsäure, welche zum Theil aus mitgerissenem Erzstaube stammt, zum anderen Theile aber auch durch Oxydation flüchtiger Siliciumverbindungen entstanden sein kann; fast ebenso regelmässig finden sich Alkalien, theils als Cyanide, theils als Chloride, als Sulfate oder als Carbonate, letztere höchstwahrscheinlich durch Zersetzung von Cyaniden entstanden, während Sulfate aus der Umwandlung von Sulfiden hervorgegangen sind; Eisenoxyd, Kalkerde, Magnesia sind ebenfalls regelmässig vorkommende Bestandtheile, und zwar zum grössten Theil einfach mitgerissen;[1]) bei Hochöfen aber, welche zinkische Erze verarbeiten, pflegt sich auch in dem Gichtstaube ein beträchtlicher Zinkoxydgehalt und bei bleiischen Erzen ein Bleioxydgehalt vorzufinden.

Beispiele der Zusammensetzung solchen Gichtstaubes oder Gichtrauches sind folgende:[2])

	I	II	III	IV	V	VI
SiO_2 . .	35,88	52,66	24,05	7,45	10,10	27,50
CaO . .	16,64	4,12	25,95	3,14	8,20	12,20
MgO . .	1,97	Sp.	2,31	2,90	0,79	BaO . 1,57
Fe_2O_3 . .	3,46	23,70	0,91	20,41	29,50	8,516
MnO . .	2,40	3,04	0,37	1,34	0,50	Mn_3O_4 31,90
Al_2O_3 . .	4,94	2,26	10,09	2,07	10,73	3,31
ZnO . .	2,23	—	1,30	26,88	7,45	1,70
PbO . .	—	—	—	13,65	n. best.	
K_2O, Na_2O	12,84	5,02	26,58	7,96	2,17	
SO_3 . .	20,89	4,01	—	—	0,58	
P_2O_5 . .	0,10	—	—	—	1,63	
CO_2 . .	—	n. best.	n. best.	4,36	—	n. best.
C . . .	—	—	—	7,04	13,74	
S . . .	—	—	1,71	0,24	—	
Cl . . .	Sp.	Sp.	—	—	—	

I. Holzkohlenhochofen zu Rothehütte (Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band 19, Seite 74).

II. Holzkohlenhochofen zu Gröditz, mit Rasenerzen betrieben. Untersuchung vom Verfasser.

III. Kokshochofen zu Mülheim a. d. Ruhr („Stahl und Eisen" 1882, Seite 216).

IV. Kokshochofen zu Gleiwitz in Oberschlesien (Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band 12, Seite 266).

V. Kokshochofen zu Esch, mit Minette betrieben („Stahl und Eisen" 1890, Seite 593).

VI. Gichtstaub eines auf Eisenmangan betriebenen Hochofens. Nach Valton, (Ledebur, Métallurgie du fer, t. II p. 129).

Lässt man den Staub in längeren Leitungen sich absetzen, so findet man in verschiedener Entfernung vom Hochofen verschiedene Zusammensetzung, entsprechend den Abweichungen des specifischen Gewichtes und der Korngrösse der Bestandtheile. Bei einem Hochofen der Redenhütte enthielt dieser Gichtstaub:[3])

1) Eisenoxyd kann auch durch Umwandlung verflüchtigten Eisenchlorides entstanden sein.

2) Eine grosse Zahl sonstiger Beispiele enthält „Stahl und Eisen" 1898, Seite 260 (Lürmann).

3) „Stahl und Eisen" 1886, Seite 536.

	im 1. Staubsacke	2.	3.	4.	5.	in den Kanälen
SiO_2	22,56	14,17	10,66	10,41	7,49	10,28
Zn	19,44	25,92	30,45	32,00	35,32	42,40
Pb	8,50	7,92	7,18	6,89	7,24	6,13
Fe	14,17	12,45	7,45	6,72	3,99	n. best.

Reinigt man die Gase, indem man sie durch Wasser leitet, so werden die löslichen Salze von diesem aufgenommen und lassen sich beim Eindampfen gewinnen. Die im Laboratorium des Verfassers angestellte Untersuchung eines solchen Eindampfrückstandes vom Hörder Hochofen ergab:

Rhodanammon	0,69	v. H.
Chlornatrium	13,02	„
Chlorkalium	19,26	„
Chlormagnesium	10,95	„
Chlorammonium	6,59	„
Eisenchlorid	0,54	„
Manganchlorür	0,10	„
Calciumsulfat	5,27	„
Kaliumsulfat	31,14	„
Kieselsäure	0,64	„
Eisenoxyd	1,47	„
Wasser	9,92	„
	99,59	v. H.

Sofern der Gichtstaub reich genug an Zink oder Blei ist, um eine Verarbeitung auf diese Metalle lohnend erscheinen zu lassen, wird er gesammelt und an die Zink- oder Bleihütten geliefert. Die im Betriebe gewesenen 38 oberschlesischen Hochöfen lieferten im Jahre 1897 5021 t Zinkstaub ab, ein Ofen also durchschnittlich 132 t. Enthält der Gichtstaub lösliche benutzungsfähige Bestandtheile, z. B. Kaliumsulfat, in grösserer Menge, so wird er mitunter auf diese verarbeitet; in anderen Fällen fährt man ihn als werthlos auf die Halde.

6. Zufällige Nebenerzeugnisse.

Nebenerzeugnisse, welche zwar eine wirthschaftliche Bedeutung nicht besitzen, wohl aber manche beachtenswerthe Streiflichter auf die Eigenthümlichkeiten des Hochofenschmelzens zu werfen im Stande sind, finden sich ziemlich häufig. Besonders reich daran pflegt der nach dem Ausblasen des Hochofens im Herde zurückbleibende Eisenklumpen, die Ofensau genannt, zu sein. Schon das Eisen dieser Sau an und für sich zeigt infolge der sehr langsamen Abkühlung, welcher es unterworfen war, manches Bemerkenswerthe. Gewöhnlich ist es kohlenstoffarm, schmiedeeisenartig, mit grobblättrigem Gefüge. An anderen Stellen, besonders da, wo ein kohlenstoffreicheres Eisen mit kieselsäurereichen Theilen der Gestellwände in Berührung war und sehr langsam erstarrte, finden sich mitunter Stücke, deren Gefüge an das des Spiegeleisens erinnert, die jedoch mit Graphit bedeckt sind und deren Analyse

nur einen geringen Kohlenstoffgehalt ($1^1/_2$ bis $2^1/_2$ v. H.) bei hohem Siliciumgehalt (3 bis 4 v. H.) nachweist. Diese Ofensau enthält auch jene auf Seite 340 erwähnten rothen Würfel von Cyan-Stickstofftitan, die man in alter Zeit für metallisches Kupfer, später für metallisches Titan hielt, bis Wöhler ihre Zusammensetzung ermittelte. Sie lassen sich von dem Eisen, welches von ihnen durchwachsen ist, trennen und in oft ziemlich grossen Mengen sammeln, wenn man das Eisen in Salzsäure auflöst.

Mitunter findet sich an einzelnen Stellen des ausgeblasenen Hochofens haarförmig oder nadelförmig krystallisirte Kieselsäure, vermuthlich durch Zersetzung von Siliciumsulfid (Seite 315) entstanden. Häufig treten auch Silikate des Zinks, in Nadeln krystallisirt, theils zwischen den Fugen der Gestellwände, theils als Ueberzug derselben, theils in der Ofensau auf; oder hexagonal krystallisirtes Zinkoxyd (Rothzinkerz).

Zu den zufälligen Nebenerzeugnissen des Hochofenbetriebes kann auch Cyankalium gerechnet werden, welches zwar regelmässig in den Oefen gebildet wird und beim Aufsteigen mit dem Gasstrome zum grossen Theile wieder zerfällt, mitunter aber auch an einzelnen Stellen des Ofens sich sammelt. In einer vermauerten Formöffnung des Hörder Hochofens fand sich ein weisses Salz, welches nach meiner Untersuchung 34 v. H. Kaliumcarbonat, höchstwahrscheinlich aus der Zersetzung von Cyankalium hervorgegangen, 9 v. H. Chlorkalium, 27 v. H. Zinkoxyd, übrigens Eisen, Mangan, Kalkerde u. a. m. enthielt. Bei dem Holzkohlenhochofen zu Mariazell sammelte sich in den vierziger Jahren Cyankalium in solcher Menge an der Aussenseite einer in der Brust angebrachten Oeffnung — eines sogenannten Lichtloches, aus welchem man während der Nacht eine Flamme zur Beleuchtung der Hütte austreten liess —, dass es gesammelt und zu galvanischen Arbeiten verwendet werden konnte.[1]) Auch in den Gasleitungsröhren dieses Hochofens wurde Cyankalium in reichlicher Menge gefunden.

Litteratur.

Abhandlungen.

F. Lürmann, Ueber Hochofenschlacken und deren Verwendung. Zeitschr. des Architekten- und Ingenieur-Vereins für Hannover, Bd. 13, S. 297; Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 12, S. 32.

F. Lürmann, Ueber die Fortschritte der Schlackenfabrikation in Osnabrück und über andere Schlackenpräparate. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 19 (1875), S. 185; Polyt. Centralbl. 1875, S. 695.

F. Lürmann, Mauersteine aus granulirten Schlacken. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 991.

F. Lürmann, Verwendung der Hochofengase zur unmittelbaren Krafterzeugung. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 247, 495; 1899 S. 473, 517.

Ch. Wood, The utilization of slag. The Journal of the Iron and Steel Institute 1873, p. 186.

Ch. Wood, On the progress of the slag industries during the last four years. The Journal of the Iron and Steel Institute 1877 II, p. 443; Dinglers polyt. Journal, Bd. 230, S. 440.

1) Annalen der Chemie und Pharmacie, Band 47 (1843), Seite 150; Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abtheilung II, Seite 261.

M. Paulovich, Ueber die Verwerthung der Hochofenschlacken für Bauzwecke. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1891, S. 333.

P. Tunner, Der Fortschritt der Schlackenindustrie während der letzten vier Jahre. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1877, S. 404.

Ueber Verwendungsarten der Schlacken in Grossbritannien. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1880, S. 353.

L. Tetmajer, Der Schlackencement. Notizblatt des Ziegler- und Kalkbrenner-Vereins 1887, Nr. 2.

A. Prost, Note sur la fabrication et les propriétés des ciments de laitiers. Annales des mines, série 8, tome 16, p. 158; auszugsweise in „Stahl und Eisen“ 1890, S. 523.

Zur Kenntniss des Schlackencementes. Thonindustrie-Zeitung 1892, Nr. 2.

H. Detienne, Note sur la fabrication et le propriétés du ciment de laitier. Revue universelle des mines, série 3, t. 39 (1897), p. 237.

E. May, Der Schlackencement, seine Herstellung und Eigenschaften. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 205, 320.

Otto Vogel, Verwendung von Hochofenschlacken zu Bauzwecken. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 178.

Chr. Meinecke, Chlorverbindungen im Hochofen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1875, S. 47.

G. Williger, Bleigewinnung im Hochofen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1882, S. 81.

L. Franck, Untersuchung eines interessanten Hochofenerzeugnisses. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 449, 485.

VII. Das Umschmelzen und die Reinigung des Roheisens.

I. Das Umschmelzen.

A. Allgemeines.

Nicht in allen Fällen schliesst sich die Verarbeitung des Roheisens, sie möge nun die Darstellung von Gebrauchsgegenständen durch Giessen des flüssigen Roheisens in Formen (Eisengiesserei) oder eine Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen durch irgend eins der in der dritten Abtheilung dieses Buches beschriebenen Frischverfahren bezwecken, unmittelbar an dessen Darstellung im Hochofen an. Obgleich diese weitere Verarbeitung fast ausnahmslos im flüssigen Zustande des Roheisens geschieht, und man demnach bei unmittelbarer Aufeinanderfolge der Darstellung und Verarbeitung die Kosten für das Umschmelzen des Roheisens ersparen würde, entspricht doch weder die Menge des bei einem vorhandenen Hochofenbetriebe erfolgenden Roheisens noch seine Zusammensetzung (welche nach Früherem auch bei einem und demselben Hochofen öfters einem unbeabsichtigten Wechsel unterworfen ist) immer genau den Ansprüchen, welche das Verarbeitungsverfahren stellt. Häufig mischt man mehrere Roheisensorten, um sie gemeinschaftlich zu schmelzen und hierdurch ein Material zu erlangen, welches besser als die einzelne Sorte für das betreffende Verfahren sich eignet; bisweilen würden auch örtliche Verhältnisse es nicht einmal

gestatten, die Anlagen für die Darstellung und für die Verarbeitung des Roheisens einander so nahe zu bringen, dass jene unmittelbare Aufeinanderfolge beider Verfahren überhaupt stattfinden kann.

In solchen Fällen sind also Schmelzöfen erforderlich, in welchen das Roheisen auf's Neue geschmolzen wird. Wo eine Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen der Zweck der Verarbeitung ist, benutzt man mitunter den nämlichen Ofen, in welchem diese Arbeit vorgenommen wird, auch zum vorausgehenden Schmelzen des Roheisens; die Einrichtung dieser Oefen wird in Abtheilung III Besprechung finden. In anderen Fällen dagegen bedient man sich für das Umschmelzen des Roheisens besonderer Oefen, deren einziger Zweck eben dieses Umschmelzen ist; das Roheisen geht wiederum als solches aus dem Ofen hervor, um dann erst weiter verarbeitet zu werden, sei es durch Eingiessen in Formen zu Eisengusswaaren, sei es durch ein Frischverfahren in einem besonderen Ofen zu schmiedbarem Eisen.

Auch bei diesem Umschmelzen lässt sich jedoch eine chemische Beeinflussung des Roheisens nicht ganz vermeiden. Häufig findet eine Oxydationswirkung unter der Einwirkung der Verbrennungsgase auf das schmelzende Metall statt, und die Folge davon ist, dass einzelne Körper, z. B. Mangan oder Silicium, ausgeschieden werden, oder dass ihre Menge geringer wird; aber auch eine Aufnahme von Fremdkörpern (Kohlenstoff, Schwefel, Silicium) kann stattfinden, sofern die Berührung des Roheisens mit den Brennstoffen oder mit den Ofenwänden Gelegenheit dazu giebt. Von den Eigenthümlichkeiten des angewendeten Schmelzverfahrens sind diese eintretenden Aenderungen abhängig; bei der Auswahl des zum Verschmelzen bestimmten Roheisens und bei der Leitung des Schmelzverfahrens aber müssen sie Berücksichtigung finden, damit das Schmelzerzeugniss den gestellten Anforderungen entspreche.

B. Das Schmelzen in Tiegeln.

Das Verfahren ist das älteste zum Umschmelzen des Roheisens[1]) und findet jetzt noch in solchen Fällen Benutzung, wo entweder nur sehr kleine Mengen Roheisen in einem Male geschmolzen oder wo chemische Beeinflussungen des Roheisens durch die Berührung mit den Brennstoffen oder Verbrennungsgasen nach Möglichkeit fern gehalten werden sollen. Es ist aber wegen des Verbrauches der Tiegel und der ungünstigen Ausnutzung des Brennstoffs kostspielig; wo also jene besonderen Gründe für seine Beibehaltung nicht vorliegen, zieht man die später zu besprechenden Verfahren für das Umschmelzen des Roheisens vor.

a) Die Tiegelöfen.

Die einfachste und zum Roheisenschmelzen auch am häufigsten angewendete Form eines Tiegelofens ist ein niedriger Schacht, unten

1) Zum Schmelzen von Gold, Silber, Bronze war das Tiegelschmelzen schon bei den Kulturvölkern des Alterthums in Gebrauch. In einem durch Gebläse angefachten Holzkohlenfeuer wurden die Tiegel erhitzt. Eine Abbildung eines Tiegelschmelzfeuers im alten Theben enthält u. a. Beck, Geschichte des Eisens, Band I, Seite 75.

durch einen Rost abgeschlossen, auf dem die Tiegel stehen, um durch ringsherum eingeschüttete Koks, seltener Holzkohlen, erhitzt zu werden. Man hat Oefen für einen und für mehrere Tiegel; da aber die Schwierigkeit, mehrere Tiegel gleichmässig zu erhitzen, mit ihrer Anzahl wächst, geht man selten über vier bis fünf, niemals über neun Tiegel hinaus.

Fig. 183.

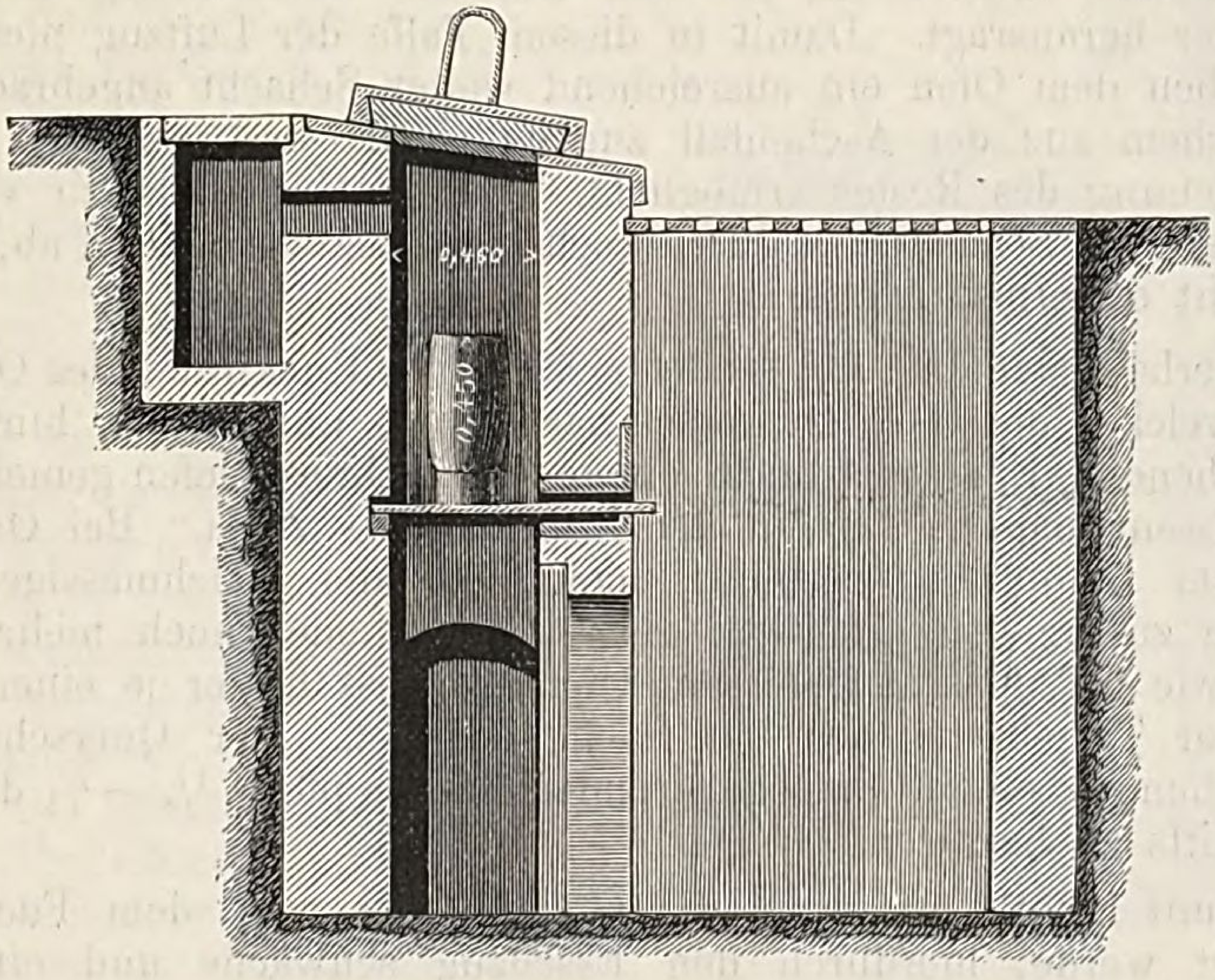
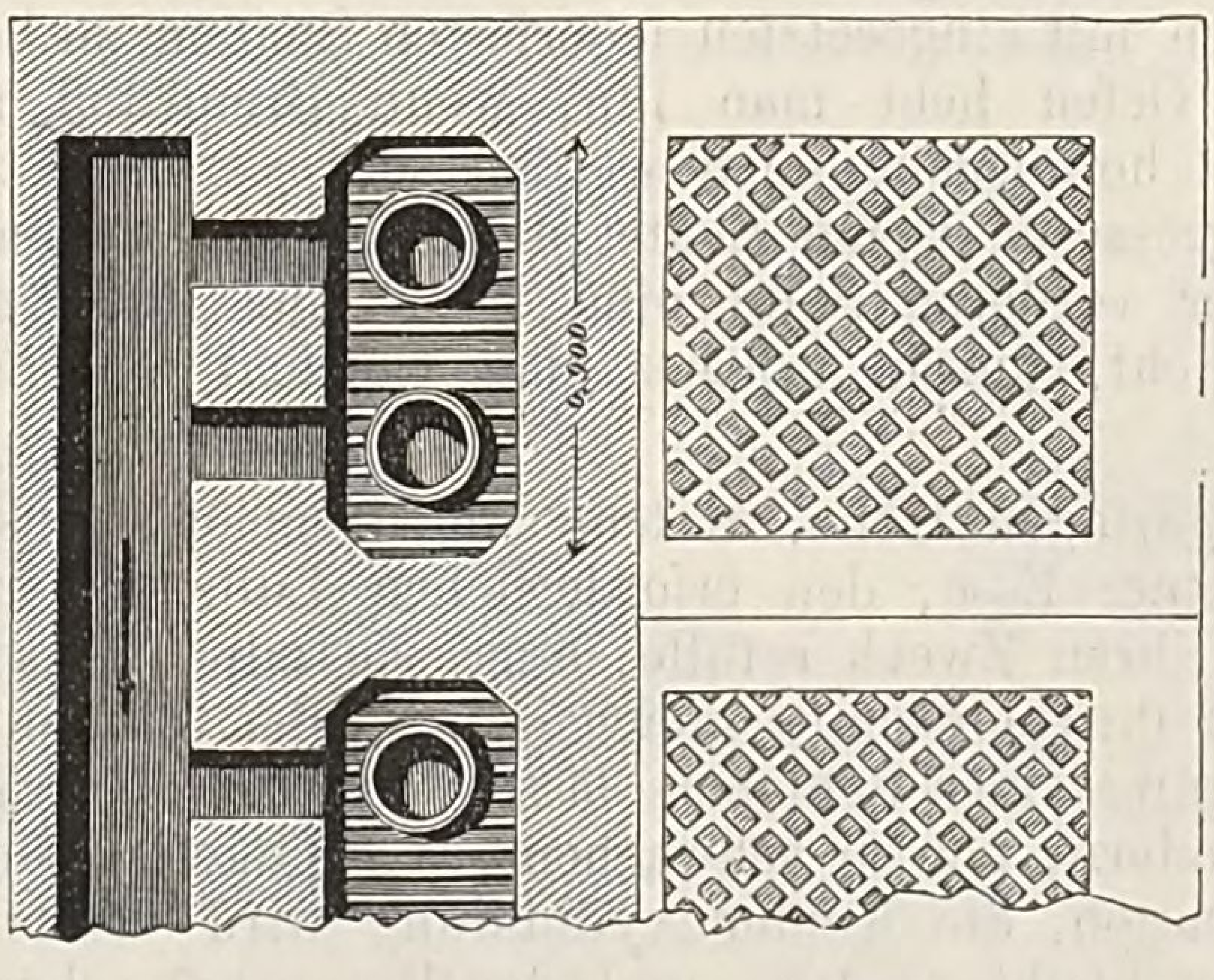


Fig. 184.



Der Querschnitt durch den Schacht ist kreisförmig, quadratisch oder rechteckig.

Einen Tiegelschachtofen für zwei Tiegel zeigen die Abbildungen Fig. 183 und 184.

Da die Temperatur unmittelbar über dem Roste, wo die kalte Luft eintritt, verhältnissmässig niedrig ist, würde der Fuss des Tiegels, wenn

man ihn unmittelbar auf den Rost stellen wollte, kalt bleiben. Man giebt deshalb jedem Tiegel einen Untersatz aus feuerfestem Thon, mitunter Käse genannt, dessen Höhe 7—10 cm betragen kann. Die Höhe des Tiegelofens pflegt annähernd doppelt so gross zu sein als die Höhe der Tiegel; die Weite wird derartig bemessen, dass zwischen Tiegel und Ofenwand ein Raum von mindestens 60 mm bleibt. Der bequemeren Bedienung halber pflegt man die Oefen, wie die Abbildung zeigt, vertieft in den Boden einzubauen, so dass nur die Gichtöffnung um einige Centimeter herausragt. Damit in diesem Falle der Luftzug nicht leide, muss neben dem Ofen ein ausreichend weiter Schacht angebracht sein, von welchem aus der Aschenfall zugänglich ist und welcher zugleich die Bedienung des Rostes ermöglicht. Um Unglücksfälle zu verhüten, deckt man den Schacht mit durchbrochenen Gusseisenplatten ab, welche sich leicht entfernen lassen.

Oberhalb der Tiegel befindet sich in der Rückwand des Ofens der Fuchs, welcher die Gase entweder nach einer unmittelbar hinter dem Ofen stehenden Esse oder nach einem für mehrere Oefen gemeinschaftlichen Essenkanale — wie in der Abbildung — führt. Bei Oefen mit länglichem Grundrisse vertheilt man, um eine gleichmässigere Verbrennung zu erzielen, die Gase gern in zwei oder noch mehr Fuchskanäle, wie bei dem abgebildeten Ofen, so dass hinter je einem Tiegel oder einer Tiegelreihe sich ein Fuchs befindet. Der Querschnitt der sämmtlichen zu einem Ofen gehörenden Füchse pflegt $^1/_8$—$^1/_4$ des Ofenquerschnitts zu betragen.

Damit nicht Luft durch die Gichtöffnung nach dem Fuchse hin angesaugt werde, hierdurch den Essenzug schwäche und eine Verbrennung der Kohlen schon im oberen Theile des Ofens herbeiführe, deckt man jene Oeffnung durch einen Deckel ab, welcher aus einem Gusseisenrahmen mit eingesetzten feuerfesten Steinen zu bestehen pflegt. Bei kleineren Oefen hebt man ihn, wenn Brennstoff nachgeschüttet oder der Tiegel herausgenommen werden soll, vermittelst einer Handhabe ab; bei grösseren Oefen richtet man ihn zum Aufklappen ein und befestigt an der vorderen Seite eine über eine Rolle geführte Kette mit Gegengewicht, durch welches das Gewicht der Klappe ausgeglichen wird.

Bei der geringen Höhe, welche die Tiegelöfen besitzen, genügt die Wirkung einer Esse, den erforderlichen Luftzug hervorzubringen; aber damit sie ihren Zweck erfülle, muss sie mindestens 10 m, besser 15 m hoch und ihr Querschnitt gleich $^1/_6$—$^1/_3$ des Ofenquerschnitts sein. Durch Anbringung eines Schiebers lässt sich eine zu kräftige Wirkung der Esse abmindern; bei zu schwachem Essenzuge geht das Schmelzen langsam von statten, die Kohlenoxydbildung wird vermehrt, die Temperatur im Ofen bleibt niedrig, und der Brennstoffverbrauch ist hoch. Daher benutzt man, zumal in der Neuzeit, auch nicht selten Oefen mit Gebläsewind, so dass der Verlauf des Schmelzens unabhängig von dem Essenzuge wird. Gewöhnlich stellt man auch bei diesen Oefen den Tiegel auf einen Rost und führt den Wind unter den Rost in den geschlossenen Aschenfall. Zur Ableitung der Gase genügt in diesen Fällen ein Rauchfang über dem Ofen.

Bei den beschriebenen Tiegelöfen muss der Tiegel, nachdem das Metall geschmolzen und die Brennstoffschicht entsprechend weit gesunken ist, mit Hülfe einer Zange aus der Gicht des Ofens herausgehoben werden, um alsdann nach dem Orte seiner Bestimmung getragen und hier entleert zu werden. Diese Arbeit ist umständlich und bewirkt auch eine rasche Abnutzung der Tiegel unter der Einwirkung der Zange und der raschen Abkühlung nach dem Ausgiessen. Zweckmässig in solchen Fällen, wo nur ein einziger Tiegel in den Ofen eingesetzt wird, ist deshalb ein von dem Franzosen Piat zuerst eingeführter tragbarer Tiegelofen, in welchem der Tiegel feststeht und aus welchem die Entleerung bewirkt wird, ohne dass der Tiegel herausgenommen wird. Fig. 185 zeigt die Einrichtung eines solchen Ofens im Innern, Fig. 186 die Handhabung beim Giessen. Der Ofen ist mit einem Eisenblechmantel eingefasst, und an diesem ist ein starkes, ringsherum laufendes Schmiedeeisenband befestigt, welches zwei starke Zapfen trägt. An diesen Zapfen hängt der Ofen während des Schmelzens in gusseisernen Lagerböcken, sofern man nicht vorzieht, ihn auf einen

Fig. 185.

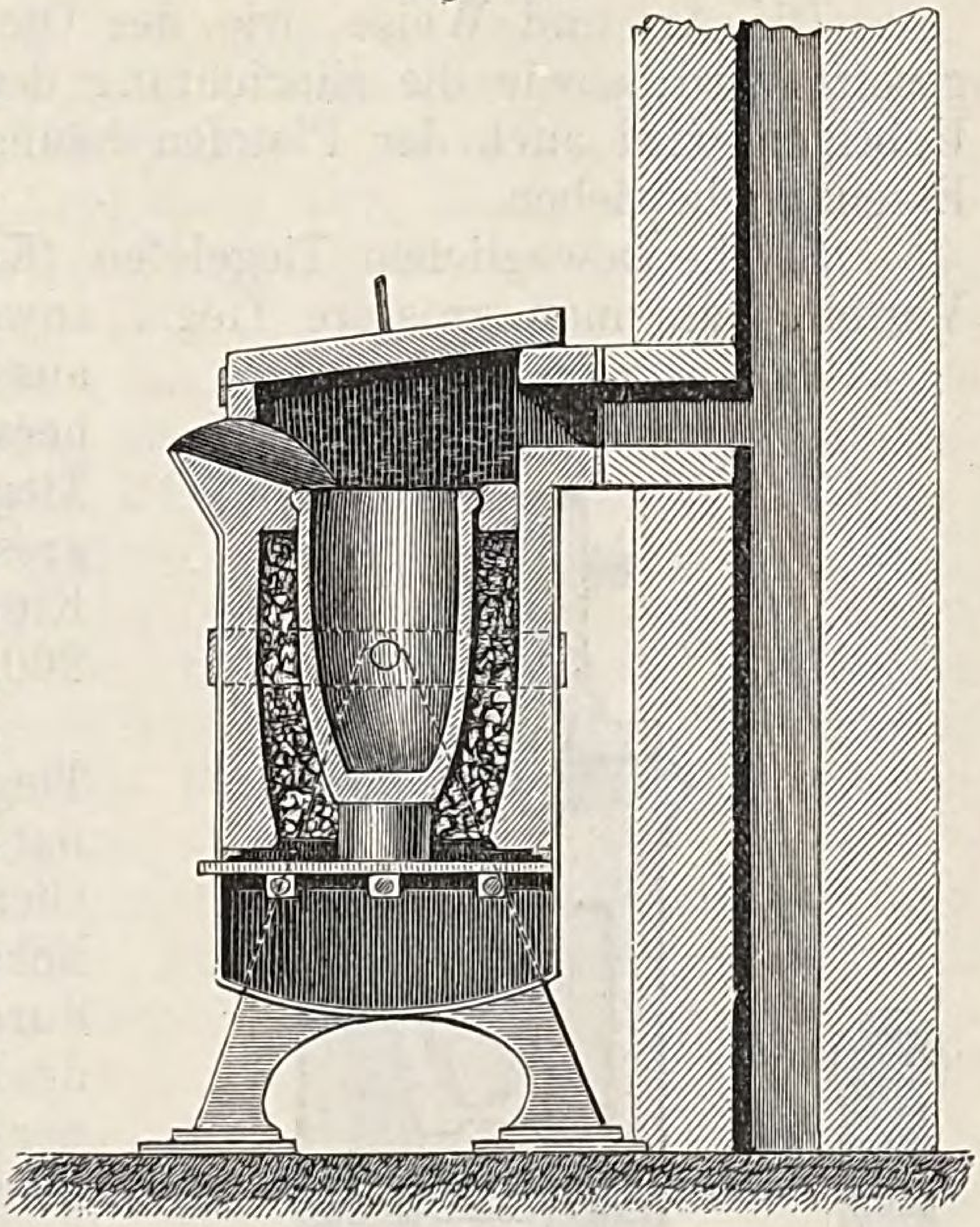
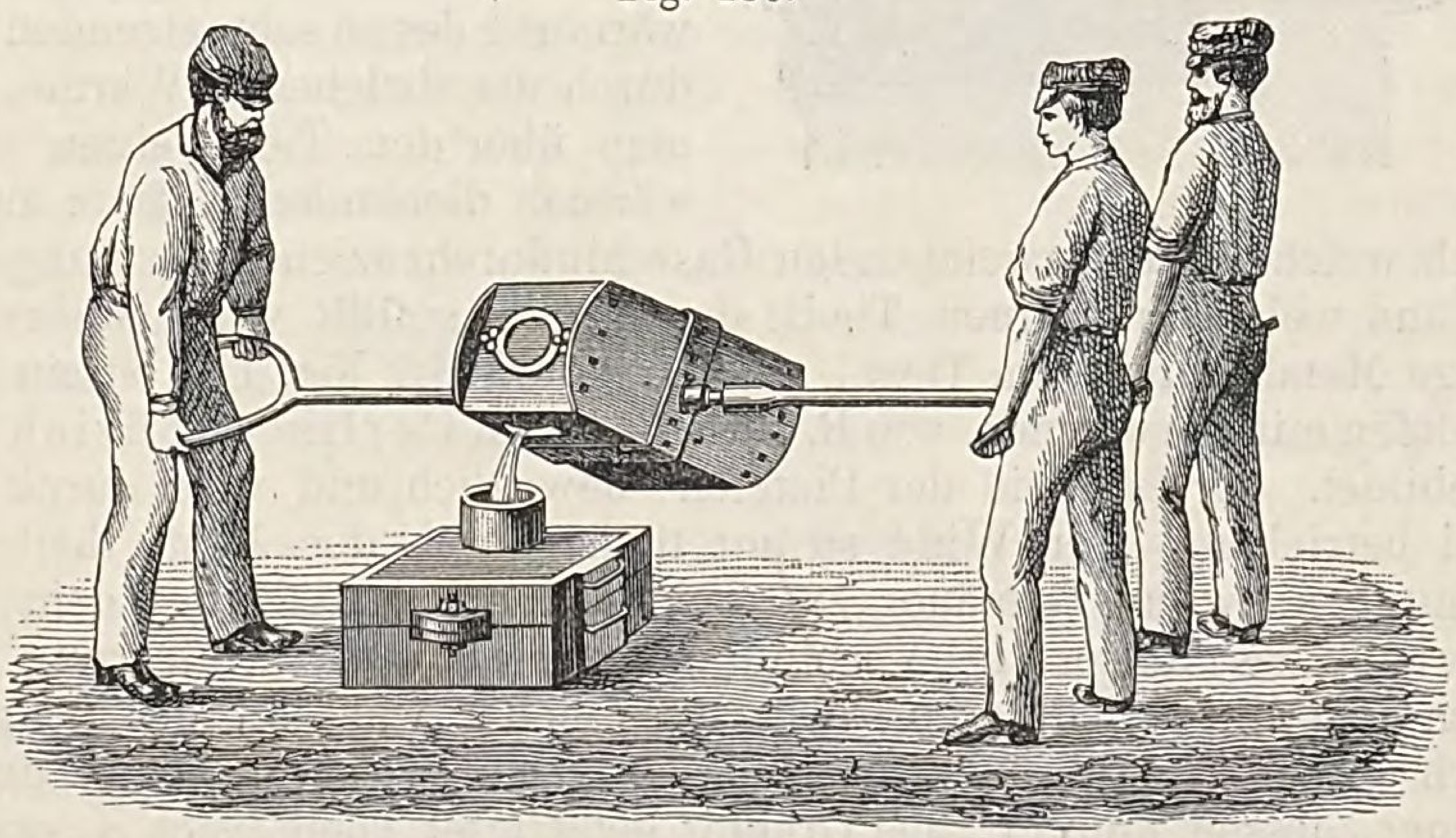


Fig. 186.



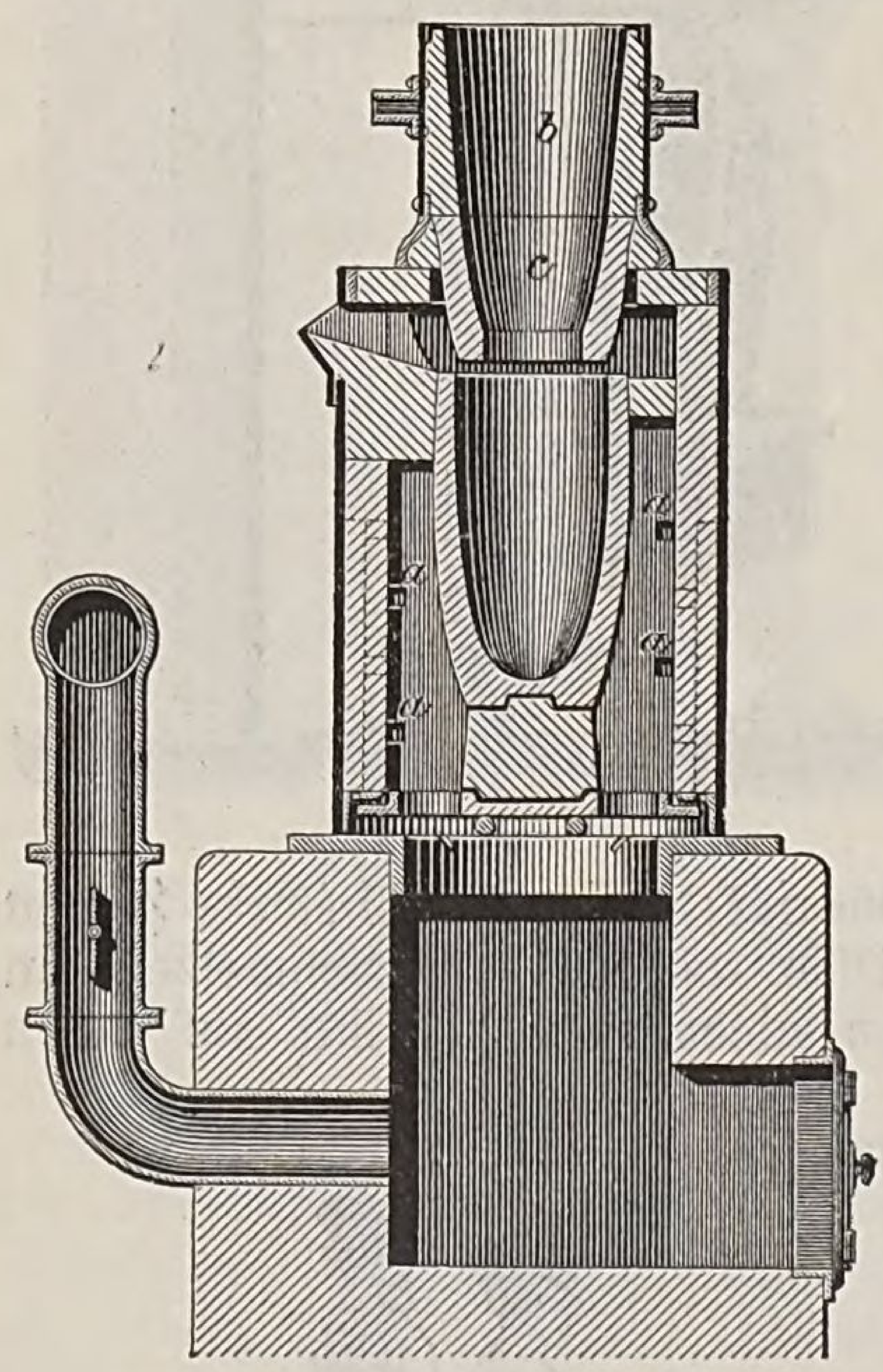
gemauerten Untersatz zu stellen; beim Tragen und Ausgiessen aber dienen die Zapfen, deren Enden zu diesem Zwecke vierkantig ausgeschmiedet sind, zum Aufstecken von Handhaben (Fig. 186). Ist das Gewicht des Ofens

sammt Inhalt zu schwer, um durch menschliche Kraft bewegt zu werden, so hängt man den Ofen mit den erwähnten Zapfen in den Bügel eines Krahnes, bringt ihn mit dessen Hülfe an den Ort seiner Bestimmung und entleert ihn, während er im Krahne hängt, mit Hülfe der Handhaben.[1])

Die Art und Weise, wie der Ofen mit der Esse in Verbindung gesetzt wird, sowie die Einrichtung des Ausgusses zeigt Fig. 185. Im Uebrigen wird auch der Piatofen häufig durch Gebläsewind statt durch Essenzug betrieben.

Solche beweglichen Tiegelöfen (Kippöfen) gewähren zugleich den Vorteil, dass man grössere Tiegel anwenden kann als bei den Oefen, aus welchen die Tiegel mit der Zange herausgehoben werden müssen. Die Tiegel der letzteren Art sind selten grösser als für 75 kg Inhalt; die Kippöfen können Tiegel von 150 bis 300 kg Inhalt aufnehmen.

Fig. 187.



Bei allen hier beschriebenen Tiegelschmelzöfen treten die Gase mit sehr hoher Temperatur aus dem Ofen und nehmen hierbei eine reichliche Wärmemenge mit, welche dadurch verloren geht. Eine Erhöhung des Ofens zur besseren Ausnutzung der Wärme würde erfolglos sein, da hierdurch nur die Kohlen stärker vorgewärmt werden könnten, eben hierdurch aber auch eine stärkere Befähigung erhielten, die aufsteigende Kohlensäure zu Kohlenoxyd zu reduciren (Seite 45). Bei neueren Tiegelöfen erzielt man dagegen eine Vorwärmung des zu schmelzenden Metalls durch die abziehende Wärme, indem man über dem Tiegel einen als Vorwärmer dienenden Aufsatz anbringt, durch welchen die entweichenden Gase hindurchzuziehen gezwungen werden und welcher mit einem Theile des Metalls gefüllt wird, während das übrige Metall bereits im Tiegel sich befindet. In Fig. 187 ist ein solcher Tigelofen mit Vorwärmer, von R. Baumann in Oerlikon-Zürich gebaut, abgebildet. Er ist, wie der Piatofen, beweglich und wird durch Unterwind betrieben. Der Wind strömt theils durch den Rost, theils durch Oeffnungen *a a* im Gemäuer zu, welche durch Kanäle mit dem Raume unterhalb des Rostes in Verbindung stehen. Die Entleerung erfolgt durch den links sichtbaren Ausguss, welcher während des Schmelzens durch einen Thonpfropfen geschlossen gehalten wird. *b* ist der Vorwärmer, dessen unterer, aus Graphit gefertigter Theil *c* sich auswechseln

1) Hinsichtlich einer andern Vorrichtung zum Bewegen des Ofens vergleiche „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 192.

lässt. Wenn der Vorwärmer in der abgebildeten Anordnung auf den Deckel des Ofens gestellt und der Ausguss geschlossen ist, müssen die Gase über den Rand des Tiegels hinweg in den Vorwärmer eintreten, um durch diesen zu entweichen. Beim Schmelzen wird der Tiegel zunächst gut vorgewärmt, dann mit sperrigen Eisenstücken gefüllt, worauf man den Vorwärmer aufsetzt und mit gröberen Eisenstücken, untermischt mit einigen Koksbrocken, füllt. Wenn der Inhalt des Tiegels zu schmelzen beginnt, rückt der inzwischen zum hellen Glühen erhitzte Inhalt des Vorwärmers nach. Nachfüllen von Koks pflegt nicht erforderlich zu sein, wenn der schon zuvor glühende Ofen vollständig mit Koks gefüllt war.[1])

Tiegelöfen dieser Art vermögen mit niedrigerem Brennstoffaufwande und in kürzerer Zeit zu schmelzen, als die zuerst beschriebenen älteren Oefen ohne Vorwärmung, aber die Haupteigenthümlichkeit des Tiegelschmelzens nach dem älteren Verfahren, dass das eingeschlossene Metall unberührt von dem Brennstoffe und den Verbrennungsgasen bleibt, erfährt hier die Einschränkung, dass das Metall bis zum Rothglühen durch unmittelbare Einwirkung des Gasstromes erhitzt wird. In manchen Fällen kann dieser Nachtheil freilich belanglos bleiben im Vergleiche zu dem Nutzen, den die Vorwärmung ermöglicht.

Flammöfen zum Tiegelschmelzen, welche für Stahlschmelzen vielfach benutzt und in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde eine ausführlichere Besprechung finden werden, sind für das Roheisenschmelzen in Tiegeln selten oder nie in Anwendung. Oefen mit Siemensfeuerung (Seite 142) würden erforderlich sein, um auf befriedigenden Erfolg rechnen zu können. Diese Oefen erheischen beträchtliche Anlage- und Unterhaltungskosten und eignen sich ihrer früher geschilderten Wirkungsweise gemäss nur für einen ununterbrochenen Betrieb in grossem Maassstabe. Wenn aber Roheisen in beträchtlichen Mengen geschmolzen werden soll, pflegt man sich nicht des Tiegels zu bedienen.

Die zum Schmelzen des Roheisens benutzten Tiegel sind Graphittiegel, aus vorzüglichstem feuerfestem Thon mit zugesetztem, als Magerungsmittel (Seite 173) dienendem Graphit gefertigt. Der Graphit, selbst unschmelzbar, erhöht die Feuerbeständigkeit der Tiegel und verhindert zugleich das Eindringen oxydirender Gase (Sauerstoff, Kohlensäure, Wasserdampf) durch die Poren des weissglühenden Tiegels. Der Graphitgehalt dieser Tiegel pflegt zwischen 20 bis 70 v. H. zu schwanken. Einiges Nähere über ihre Anfertigung ist in der dritten Abtheilung bei Besprechung des Tiegelstahlschmelzens mitgetheilt.

b) Das Schmelzen und die Betriebsergebnisse.

In den beschriebenen Tiegelschachtöfen benutzt man fast stets Koks als Brennstoff. Holzkohlen würden, selbst wenn sie ebenso billig als Koks zu beschaffen wären, doch weniger gut tauglich sein, da bei ihrer Verbrennung eine reichlichere Bildung von Kohlenoxyd als bei Verbrennung von Koks unvermeidlich ist (Seite 43), sie also weniger

1) Ueber sonstige Tiegelöfen mit Vorwärmer enthält Weddings unter Litteratur genannte Abhandlung bemerkenswerthe Mittheilungen.

Wärme als diese entwickeln. Man gebraucht die doppelte Menge Holzkohlen als Koks, um die gleiche Menge Roheisen zu schmelzen.

Die Tiegel werden mit dem zu schmelzenden, in kleine Stücke zerschlagenen Eisen in solcher Weise gefüllt, dass dieses möglichst dicht liegt und wenig Zwischenräume bleiben. Will man das Metall thunlichst vor chemischen Einflüssen schützen, so schliesst man den Tiegel durch einen aufgelegten Deckel. Wenn die Tiegel an ihre Stelle gebracht sind, beginnt das Schmelzen, während dessen der Schmelzer nur von Zeit zu Zeit Koks nachzufüllen braucht, sobald ihre Oberfläche im Ofen gesunken ist. Die Zeitdauer des Schmelzens pflegt 2 bis 3 Stunden vom Einsetzen der Tiegel an zu betragen, sofern der Ofen nicht mit Vorwärmer versehen ist; bei den beschriebenen neueren Oefen mit Vorwärmer lässt sich, nachdem der Tiegel angewärmt wurde, das Schmelzen in 1 Stunde durchführen. Erforderlich ist es, den Tiegel, nachdem das Metall vollständig flüssig geworden ist, noch einige Zeit im Ofen verweilen zu lassen, damit entsprechende Ueberhitzung eintrete, ohne welche das Metall nicht gut giessbar sein würde. Alsdann wird der Tiegel mit einer Zange herausgehoben (falls nicht Kippöfen benutzt wurden) und entleert.

Da das eingesetzte Roheisen anhaftende Sandkörnchen zu enthalten pflegt, welche mit dem Eisen gewogen waren, auch Verluste beim Giessen nicht ganz zu vermeiden sind, beträgt das Gewicht des wiedererfolgenden Roheisens nur ungefähr 98 v. H. des Einsatzes; 2 v. H. sind Verlust. Der Brennstoffverbrauch zum Schmelzen von 1000 kg Roheisen beträgt bei den Oefen ohne Vorwärmer durchschnittlich 1000 kg Koks; er ist grösser, wenn der Einsatz nur gering ist, man lockere, leicht verbrennliche Koks benutzte und der Ofen vorher kalt war, und er kann unter günstigen Umständen auch wohl auf 750 kg, bei den Oefen mit Vorwärmer und grösseren Tiegeln sogar auf 500 kg sinken.

c) Der chemische Verlauf des Tiegelschmelzens.

Obschon beim Schmelzen im bedeckten Tiegel (ohne Vorwärmer) eine Berührung des Metalls mit dem Brennstoffe oder den Verbrennungsgasen ausgeschlossen ist, machen sich doch chemische Einflüsse geltend, welche Beachtung verdienen.

In dem Tiegel ist eine gewisse Menge Luft eingeschlossen; die eingesetzten Roheisenstücke aber pflegen an ihrer Oberfläche theils Rost, theils Eisenoxyduloxyd als dünnen Ueberzug zu enthalten, welches bei dem Erstarren des Roheisens unter der Berührung mit der Luft sich gebildet hatte. Die eingeschlossene Luft sowohl als jene Eisenoxyde wirken beim Einschmelzen oxydirend auf einige Bestandtheile des Roheisens ein. Schmelzt man mangan- und siliciumarmes Roheisen, so wird der Kohlenstoffgehalt verringert; ist Mangan in grösseren Mengen zugegen, so schützt dieses den Kohlenstoffgehalt vor dem Verbrennen; auch Silicium kann verbrannt werden, wenn der Einsatz arm an Mangan und Kohlenstoff ist. Diese Verbrennung erreicht ihr Ende, wenn das Metall vollständig flüssig geworden ist; der zuvor anwesende freie Sauerstoff ist verbraucht, die Eisenoxyde sind zerstört. Jetzt beginnt nun beim längeren Verweilen des Tiegels im Ofen die erforderliche Ueber-

hitzung[1]) und mit dieser ein neuer chemischer Vorgang. Der Kohlenstoffgehalt des Roheisens und auch der Mangangehalt, falls ein solcher zugegen ist, wirken reducirend auf den Kieselsäuregehalt der Tiegelwände; Silicium wird vom Roheisen aufgenommen, Kohlenstoff und Mangan treten aus. Je höher die Temperatur und je weniger reichlich der schon anwesende Siliciumgehalt ist, desto deutlicher macht sich dieser Vorgang bemerkbar. Auch die Beschaffenheit der Tiegel spielt hierbei eine Rolle; ihr Kieselsäuregehalt und die Form, in welcher die Kieselsäure anwesend ist, beeinflusst den Verlauf der Siliciumreduction. Durch den Graphitgehalt der Tiegel ist dem Eisen Gelegenheit gegeben, für den zur Reduction des Siliciums verbrauchten Kohlenstoff Deckung zu erhalten, unter Umständen, wenn es kohlenstoffarm war, seinen Kohlenstoffgehalt noch mehr als zuvor anzureichern. Je graphitreicher die Tiegel sind, desto leichter kann das Eisen diesem Bestreben Folge geben.

Das im Tiegel umgeschmolzene und beim Umschmelzen überhitzte Roheisen pflegt daher siliciumreicher und manganärmer als zuvor geworden zu sein; ein hoher Mangangehalt befördert die Reduction des Siliciums. Der Kohlenstoffgehalt kann, wenn er zuvor schon hoch war und die Tiegel nicht sehr graphitreich waren, eine Abminderung erfahren haben; häufiger ist eine, wenn auch nicht beträchtliche, Zunahme bemerkbar.

Bei dreimaligem Umschmelzen weissen Roheisens in Tiegeln, welche aus 3 Theilen Graphit und $3\frac{1}{4}$ Theilen Thon gefertigt waren, fand Müller[2]) folgende Aenderungen der chemischen Zusammensetzung:

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Vor dem Umschmelzen	3,59	0,07	2,04
Nach einmaligem Umschmelzen	3,71	0,57	1,91
„ zweimaligem „	3,77	0,76	1,85
„ dreimaligem „	3,63	1,07	1,86

Das ursprünglich weisse Roheisen zeigte nach jedem wiederholten Umschmelzen stärkere Graphitausscheidung, eine Folge der stattgehabten Zunahme des Siliciumgehaltes; bei einem vierten Umschmelzen, dessen Erzeugniss jedoch nicht untersucht wurde, war dieses vollständig graues Roheisen geworden.

Boussingault[3]) schmolz ebenfalls weisses Roheisen und erhielt nachstehende Zusammensetzung:

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Phosphor	Schwefel
Vor dem Umschmelzen . .	3,80	0,42	2,58	0,07	0,10
Nach „ „ . .	3,44	0,66	1,75	0,08	0,02

Hier zeigt der Kohlenstoffgehalt eine ziemlich bedeutende Abnahme beim Schmelzen; vermuthen lässt sich, dass das Schmelzen in graphitarmen Tiegeln ausgeführt wurde. Beachtenswerth ist auch die Abnahme des Schwefelgehaltes, welche dem auf Seite 322 besprochenen Einflusse des Kohlenstoffgehaltes auf den Schwefelgehalt entspricht.

1) So lange noch ungeschmolzenes Metall sich im Tiegel befindet, kann das geschmolzene nicht überhitzt werden, da der zugeführte Wärmeüberschuss zum Schmelzen des ersteren verbraucht wird. Man vergegenwärtige sich den Vorgang beim Schmelzen von Eis in Wasser.

2) „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 181.

3) Annales de chimie et de physique, série 5, tome 5, p. 236.

Jene bei der Ueberhitzung des im Tiegel geschmolzenen Roheisens stets eintretende Anreicherung des Siliciumgehaltes beeinflusst das Verhalten des Roheisens bei den üblichen Verwendungen[1]) gewöhnlich günstig, sofern es nicht schon ein Uebermaass von Silicium enthielt, und in jedem Falle kann man durch Einsetzen eines entsprechend siliciumärmeren Roheisens jener immerhin nicht sehr beträchtlichen Zunahme Rechnung tragen.

C. Das Schmelzen in Flammöfen.

a) Geschichtliches.

Die Benutzung von Flammöfen zum Roheisenschmelzen kam um die Mitte des vorigen Jahrhunderts in Grossbritannien auf. Die Anregung dazu gab der Umstand, dass der Herd der einzelnen Hochöfen, welche den Eisengiessereien das geschmolzene Metall lieferten, nicht immer ausreichend gross war, um alles für die Herstellung eines schweren Gussstückes erforderliche Metall zu fassen; man sah sich gezwungen, neben dem Hochofen einen besonderen Schmelzofen einzurichten, welcher sich rasch in und ausser Betrieb setzen liess und befähigt war, grössere Mengen mit einem Male zu schmelzen und zu sammeln. Zunächst versuchte man, in eben solchen Oefen zu schmelzen, welche bereits seit Jahrhunderten zum Bronzeschmelzen benutzt worden waren und keine Esse besassen (Seite 135), erkannte aber bald, dass diese Oefen nicht geeignet seien, Roheisen zu schmelzen und zu überhitzen; später gab man ihnen die Esse zur Erzeugung des lebhafteren Luftzuges und erhielt nunmehr gute Ergebnisse. 1765 waren in Cumberland bereits Flammöfen zum Roheisenschmelzen in Anwendung, deren Einrichtung der jetzt üblichen ziemlich genau entspricht.[2])

In der Jetztzeit ist die Verwendung der Flammöfen zum Roheisenschmelzen nicht mehr häufig. In Eisengiessereien bedient man sich ihrer bisweilen, wenn grosse Mengen Roheisen (5 bis 10 t oder darüber) geschmolzen und gesammelt werden sollen, um für einen einzigen Guss benutzt zu werden, zumal wenn nur ein geringer Silicium- und Mangangehalt des Schmelzerzeugnisses erwünscht ist; in zahlreicheren Fällen sind sie durch die unten besprochenen Kupolöfen ersetzt. Noch seltener sind sie für andere Zwecke (Bessemer- und Thomasverfahren) in Benutzung.

b) Die Flammöfen.

Die meisten zum Schmelzen des Roheisens bestimmten Flammöfen sind mit gewöhnlicher Rostfeuerung versehen. Sie sind gewöhnlich nur für einzelne, erst in längeren Zeiträumen sich wiederholende Schmelzen bestimmt und werden nach jedem Schmelzen wieder kalt gelegt; die

1) Am häufigsten findet das im Tiegel geschmolzene Roheisen für die in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde besprochene Darstellung schmiedbaren Gusses Verwendung. Näheres über die hierfür erforderliche Zusammensetzung ist in dem betreffenden Abschnitte mitgetheilt.

2) Abbildung: Jars, Voyages métallurgiques, Lyon 1774, vol. 1, pl. VI. Ausführliche Abbildungen, sowohl eines älteren Flammofens ohne Esse, als zweier verbesserter Flammöfen zum Roheisenschmelzen mit Esse, enthält das Werk: G. Monge, Description de l'art de fabriquer les canons, Paris, an II, pl. XXI—XXV.

Anwendung einer Gasfeuerung würde bei einem derartigen Betriebe kaum Nutzen gewähren und kostspieliger sein.

Ein derartiger Flammofen ist in Fig. 188 bis 190 abgebildet.

Wie Fig. 189 erkennen lässt, befindet sich der Schmelzraum für das geschmolzene Roheisen unmittelbar hinter der Feuerbrücke, und nach Beendigung des Schmelzens wird das flüssige Metall durch ein an der vorderen Langseite des Ofens angebrachtes Stichloch (*a* in Fig. 190) abgelassen. Das Einsetzen des Roheisens erfolgt durch die Oeffnung *b*. Man bringt die Roheisenstücke möglichst in die Nähe des Fuchskanales und schliesst dann die Einsatzthür durch Vermauerung. Das Roheisen fliesst beim Schmelzen auf der geneigten Sohle des Herdes abwärts den Gasen entgegen, um sich an der schon bezeichneten Stelle zu sammeln. Damit die Sohle dieses Sammelherdes (Sumpfes) gut vorgewärmt werde und das Roheisen während des Stehens daselbst nicht abkühle, muss die gewölbte Decke des Ofens hier tief heruntergezogen werden (Fig. 189), so dass auch die Flamme gezwungen ist, nahe über die Sohle hinwegzuziehen. Die Erfüllung dieser Bedingung ist erfahrungsmässig für eine gute Leistung des Ofens unumgänglich; aber das Gewölbe leidet gewöhnlich stark, wenn es allzu tief heruntergeht, und muss deshalb mit besonderer Vorsicht hergestellt werden. *c* ist eine kleine Thür, welche die Beobachtung des geschmolzenen Roheisens, das Losbrechen etwa entstandener Ansätze u. s. w. ermöglicht.

Bei einer älteren Form dieser Flammöfen zum Roheisenschmelzen, welche noch in manchen Giessereien des Siegerlandes gefunden wird, liegt der Sammelraum nicht hinter der Feuerbrücke, sondern am entgegengesetzten Ende des Ofens unter dem Fuchse, welcher aus der Decke nach der seitlich stehenden Esse führt. Das Roheisen wird dicht neben der Feuerbrücke eingesetzt, und der Herd fällt in der Richtung des Gasstromes. Das Stichloch liegt an der Stirnseite des Ofens unter dem Fuchse. Der Ofen wird dadurch dem auf Seite 137 in Fig. 4 dargestellten Flammofen ähnlich mit dem Unterschiede, dass der Fuchs *d* in der Decke des Ofens angebracht wird. Die Bauart dieser Oefen ist einfacher, die Decke dem Wegschmelzen weniger stark unterworfen; aber die Wärmeausnutzung soll weniger günstig sein.

Die Oefen pflegt man im Inneren aus Schamotteziegeln herzustellen, das Gewölbe bisweilen aus Dinasziegeln. Der Herd wird aus feuerfester Masse auf einer zwischen den Umfassungswänden aufgeschütteten Unterlage von Sand, Brocken von Schamotteziegeln oder dergleichen aufgestampft.

Für die Abmessungen solcher Flammöfen mit Rostfeuerung lassen sich folgende Verhältniszahlen annehmen.

Grösse der Herdfläche (von der Feuerbrücke bis zum Beginn des Fuchses) für je 1000 kg des in einem Einsatze zu schmelzenden Roheisens 0,5 — 1 qm (bei Oefen mit kleinem Einsatze mehr, mit grossem Einsatze weniger).

Länge des Herdes 3 — 4 m.

Grösse der gesammten Rostfläche = $^1/_3$ der Herdfläche.

Grösse des Flammenloches = 0,5 — 0,7 der gesammten Rostfläche.

Fuchsquerschnitt = $^1/_9$ — $^1/_{10}$ der gesammten Rostfläche.

Essenquerschnitt an der engsten Stelle = $^1/_5$ der gesammten Rostfläche.

Essenhöhe etwa 25 m.

In Ausnahmefällen, nämlich dann, wenn ein ununterbrochenes Schmelzen während längerer Zeiträume stattfindet (beim Bessemer- oder Thomasbetriebe, vergleiche Abbildung III), flammende, für die Heizung eines solchen Flammofens brauchbare, aber nicht verkokungsfähige Brennstoffe (Braunkohlen) billig zu beschaffen sind, Koks, welche für den Betrieb von Kupolöfen erforderlich sein würden, verhältnissmässig theuer zu stehen kommen, hat man Flammöfen mit Siemensfeuerung zum Roheisenschmelzen in Anwendung gebracht.[1]) Die Einrichtung dieser Oefen ist im wesentlichen die gleiche wie des in Fig. 26 bis 29 (Seite 144) abgebildeten Siemensofens.

c) Das Schmelzen und die Betriebsergebnisse.

Bei den Flammöfen, welche nur zeitweise benutzt und dann wieder kalt gelegt werden, pflegt man das Roheisen vor dem Anheizen einzubringen und so aufzusetzen, dass es von der vorüberziehenden Flamme gut getroffen wird. Dann schliesst man die Einsatzöffnung und beginnt mit dem Feuern. Während dieser Zeit beschränkt sich die Arbeit des Schmelzers auf die Unterhaltung des Feuers und Ueberwachung des schmelzenden Metalls, Losbrechen gebildeter Ansätze von der Herdsohle und dergleichen mehr. Ist alles Roheisen geschmolzen, so wird noch einmal kurze Zeit stark gefeuert, um die erforderliche Ueberhitzung des flüssigen Metalls zu erzielen; dann wird zum Abstiche geschritten.

Bei Benutzung von Siemensöfen wird der Ofen vor dem Einsetzen des Roheisens geheizt, bis er in volle Temperatur gekommen ist; dann bringt man das Roheisen in die Mitte des Herdes.

Die Zeitdauer des Schmelzens bei Oefen mit Rostfeuerung, vom Beginn des Anheizens an gerechnet, pflegt 5—6 Stunden zu sein; verarbeitet man mehrere Einsätze nach einander, so dass das Roheisen in den schon glühenden Ofen eingesetzt wird, so beschränkt sich die Schmelzzeit gewöhnlich auf 3—4 Stunden. In Siemensöfen ist nur eine Zeitdauer von etwa 2 Stunden für das Schmelzen eines Einsatzes erforderlich, sofern der Ofen schon beim Einsetzen sich in entsprechend hoher Temperatur befand.

Am häufigsten benutzt man für die Oefen mit Rostfeuerung Steinkohlen als Brennmaterial. Auch in den günstigsten Fällen beträgt der Brennstoffverbrauch zum Schmelzen von 1000 kg Roheisen nicht weniger als 350 kg Steinkohlen; häufiger beziffert er sich auf 500—700 kg, unter besonders ungünstigen Verhältnissen auf 1000 kg und darüber. Bei Anwendung von Braunkohlen, Holz oder Torf ist der Brennstoffverbrauch in demselben Maasse höher, als der Brennwerth dieser Brennstoffe niedriger ist.

1) Teplitzer Walzwerk, wo man die zur Thomashütte gehörenden Roheisenschmelzöfen mit Braunkohlengas heizt. Näheres hierüber: „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 211.

Giesserei-Flammofen.

Fig. 188.

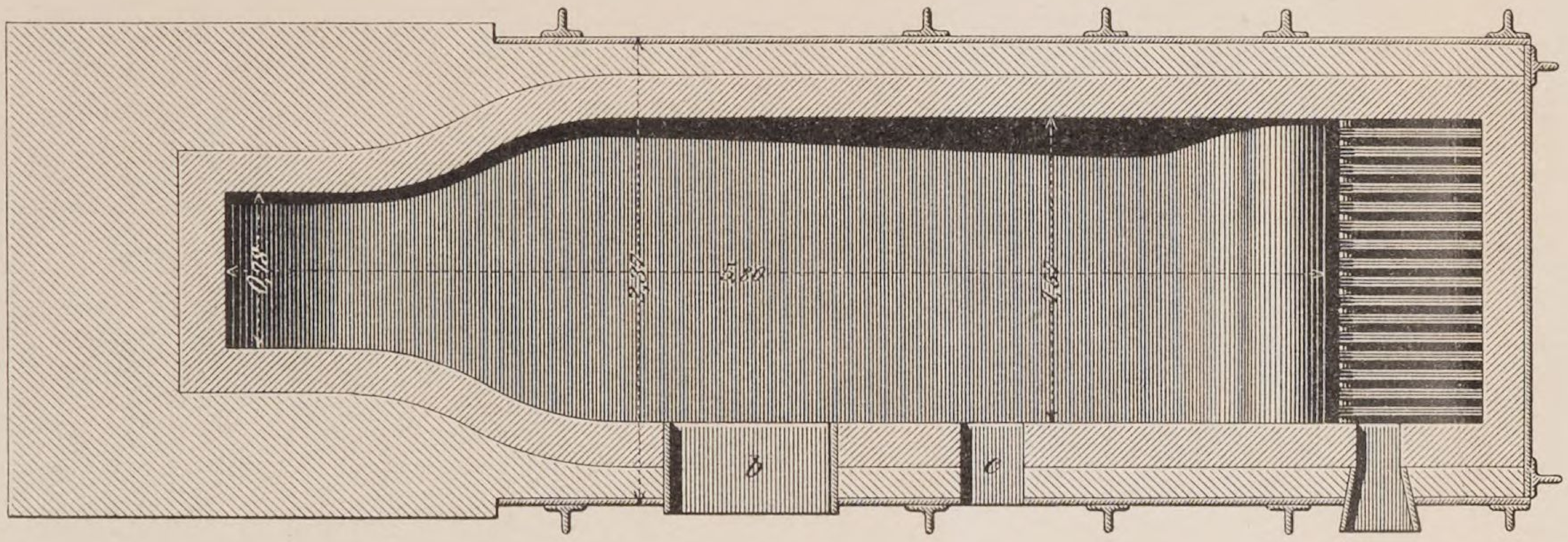


Fig. 189.

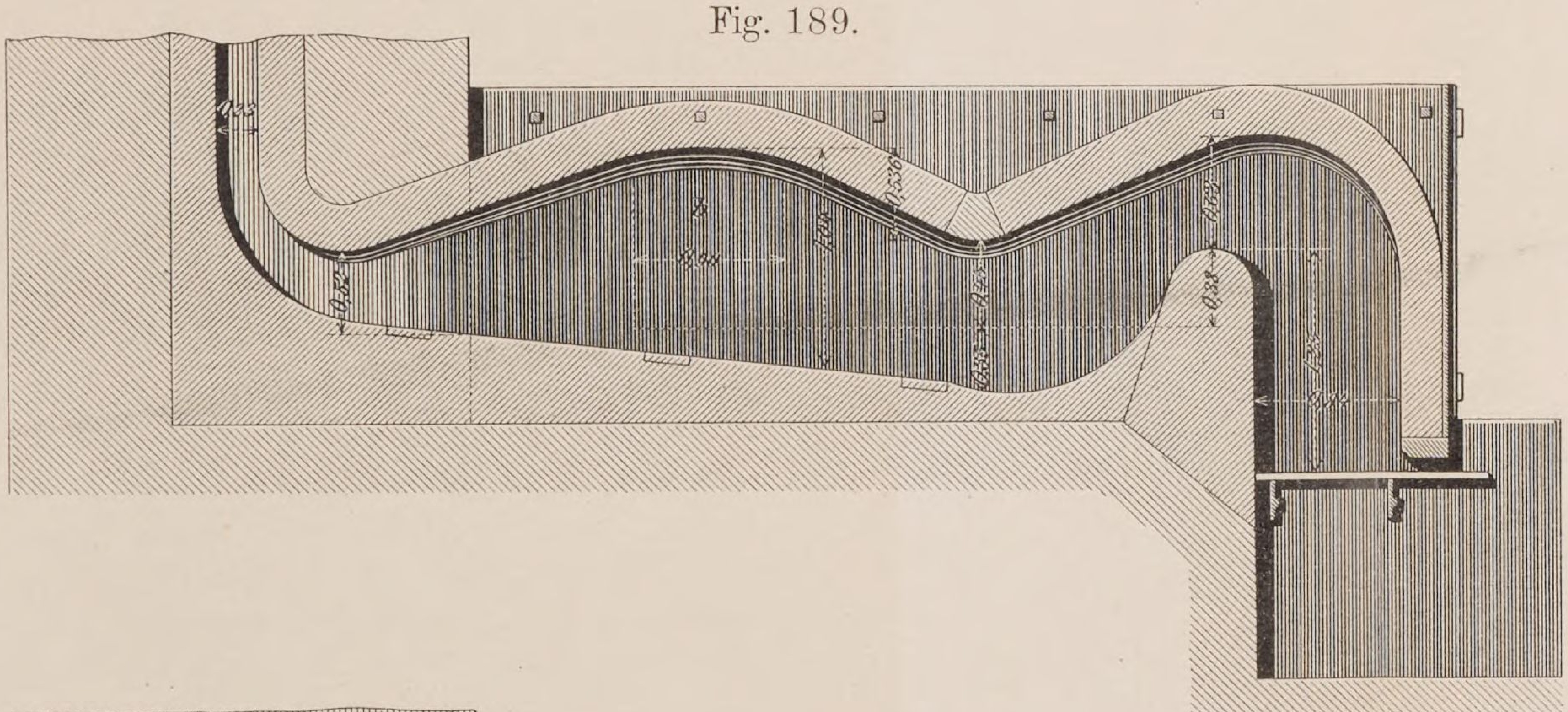
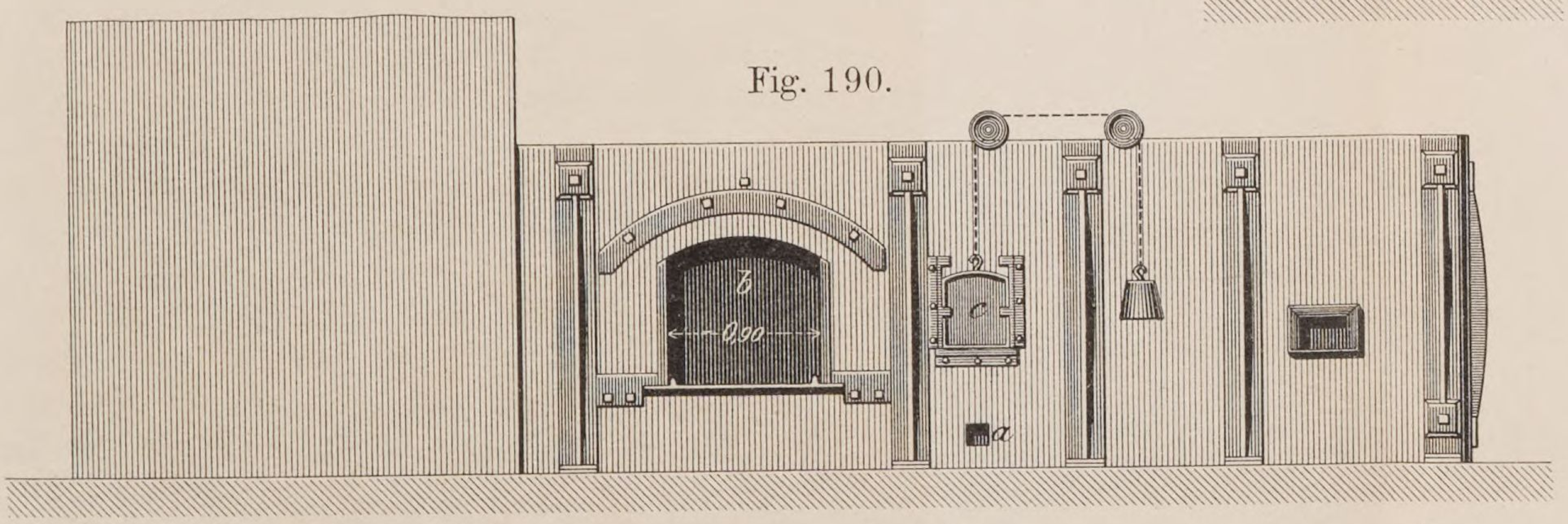


Fig. 190.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Tecnn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

Beim Schmelzen in Siemensöfen mit Braunkohlengas gebraucht man in Teplitz für 1000 kg Roheisen ungefähr 450 kg Braunkohlen, wobei der einmalige Roheiseneinsatz 6,5 t beträgt.

Der Metallverlust beim Flammofenschmelzen (Abbrand) pflegt 5 bis 8 v. H. des Einsatzgewichts zu betragen.

d) Der chemische Verlauf des Flammofenschmelzens.

Damit die zum Schmelzen und Ueberhitzen des Roheisens erforderliche Temperatur im Ofen erreicht werde, ist die Erzielung einer thunlichst vollständigen Verbrennung, also die Bildung einer Flamme erforderlich, welche ausser Stickstoff vorwiegend Kohlensäure, Wasserdampf und freien Sauerstoff enthält. Diese Flamme wirkt stundenlang auf das Roheisen ein, welches ihr eine reichliche Oberfläche darbietet; eine theilweise Verbrennung einiger Bestandtheile des Roheisens ist die Folge davon. In welchem gegenseitigen Verhältnisse die Körper hierbei ausscheiden, hängt zum Theile von ihrem ursprünglichen Gehalte im Roheisen ab. In jedem Falle wird eine gewisse Menge Eisen verbrannt, welches, obgleich weniger leicht verbrennlich als Mangan und Silicium, doch in reichem Ueberschusse zugegen ist und daher leichter als diese Körper von der Einwirkung der Flamme erreicht wird. Neben dem Eisen verbrennt Mangan, dessen Neigung zum Verbrennen durch die Berührung mit den kieselsäurehaltigen Ofenwänden gesteigert wird; je manganreicher der Einsatz war, desto mehr bleibt das Eisen selbst vor der Verbrennung geschützt. Auch Silicium verbrennt; Kohlenstoff dagegen bleibt so lange vor der Verbrennung geschützt, als Mangan und Silicium noch in einigermaassen reichlichen Mengen im Metallbade anwesend sind. Sofern daher eine Entkohlung beim Schmelzen vermieden werden soll, gewährt die Wahl eines mangan- und siliciumreichen Einsatzes das Mittel hierfür. Schon ein Gehalt des Roheisens von 2 v. H. Mangan pflegt einen ausreichenden Schutz für den Kohlenstoffgehalt zu bilden, sofern nicht ungünstige Verhältnisse (z. B. verzögerter Verlauf des Schmelzens) das Maass der Oxydation in ungewöhnlicher Weise erhöhen.

Von dem Mangangehalte des Einsatzes brennt in gewöhnlichen Fällen ein Drittel bis zwei Drittel, von dem Siliciumgehalte ein Viertel bis zur Hälfte, von dem Kohlenstoffgehalte höchstens ein Sechstel weg.

Phosphor wird nicht ausgeschieden. Der Kohlenstoffgehalt des Roheisens und das kieselsäurereiche Ofenfutter verhindern die Verbrennung und Ausscheidung dieses Körpers (Seite 41 und 278).

Auch Kupfer, Arsen, Antimon lassen sich nicht entfernen, wie schon bei Besprechung des Verhaltens dieser Körper in der ersten Abtheilung erwähnt wurde.

Eine geringe Schwefelabscheidung würde vielleicht beim Schmelzen manganreicher Einsätze stattfinden können (Seite 323); enthalten aber die benutzten Brennstoffe Schwefel, so vermag das flüssige Eisen auch aus der Flamme Schwefel aufzunehmen (Seite 320). Eine Schwefelanreicherung wird in diesen Fällen häufiger sein als eine Schwefelabnahme. Zuverlässige Ermittelungen hierüber liegen nicht vor.

D. Das Schmelzen in Kupolöfen.

a) Geschichtliches.

Schachtöfen, welche zum Umschmelzen des Roheisens in unmittelbarer Berührung mit den Brennstoffen bestimmt sind, nennt man Kupolöfen. Die Benennung ist von dem englischen Worte *cupola-furnaces* abgeleitet und bedeutet eigentlich Kuppelöfen. Da der Ofen eine Kuppel nicht besitzt, ist der Name zwar nicht gut gewählt, trotzdem aber in mehr oder weniger veränderter Form in die Sprachen der meisten Länder übergegangen, wo man sich dieser Oefen bedient (z. B. französisch *cubilot*).[1])

Schachtöfen zum Umschmelzen von Roheisen waren in China schon 1630 in Benutzung. Die Abbildung 191, aus einem in dem ge-

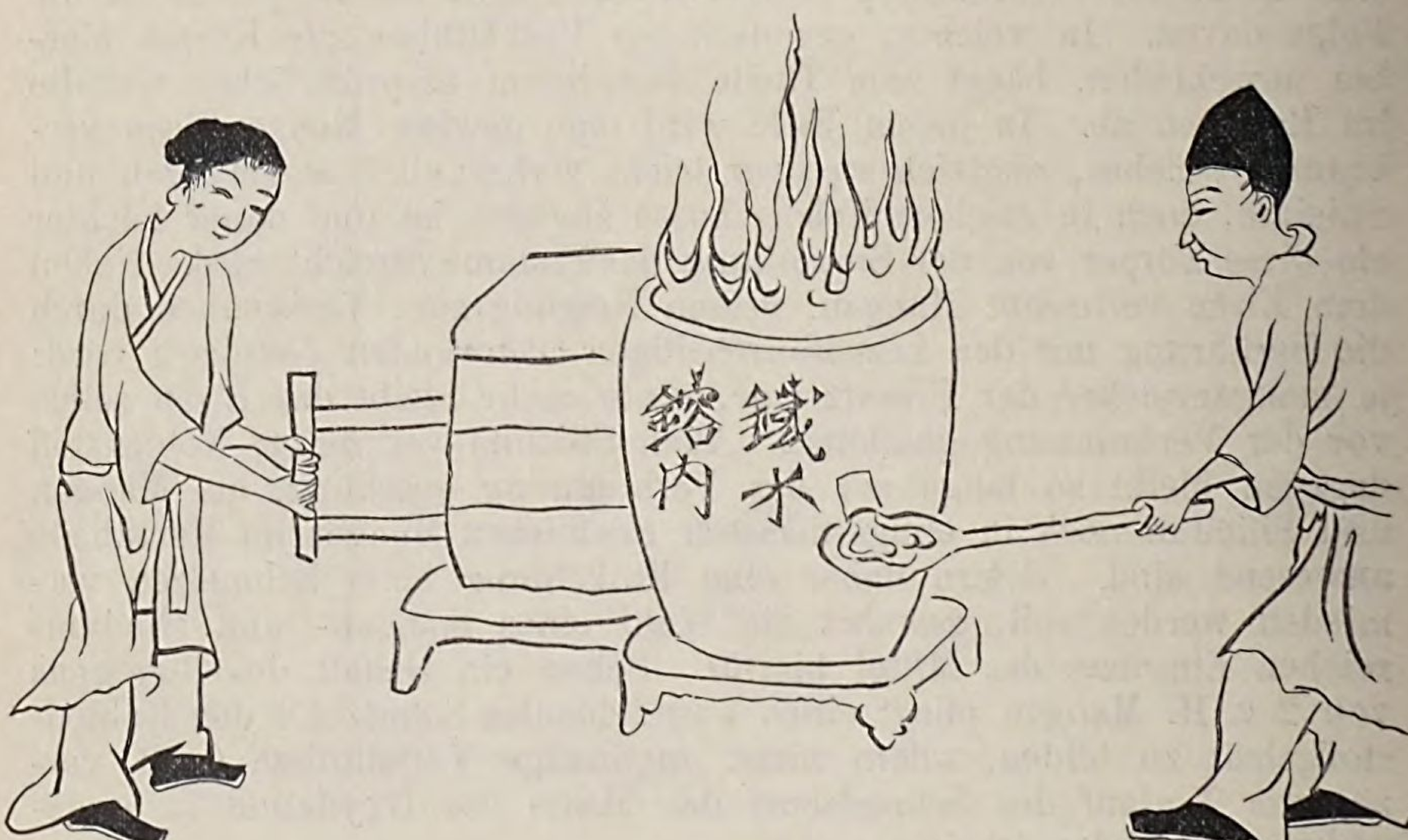


Fig. 191.

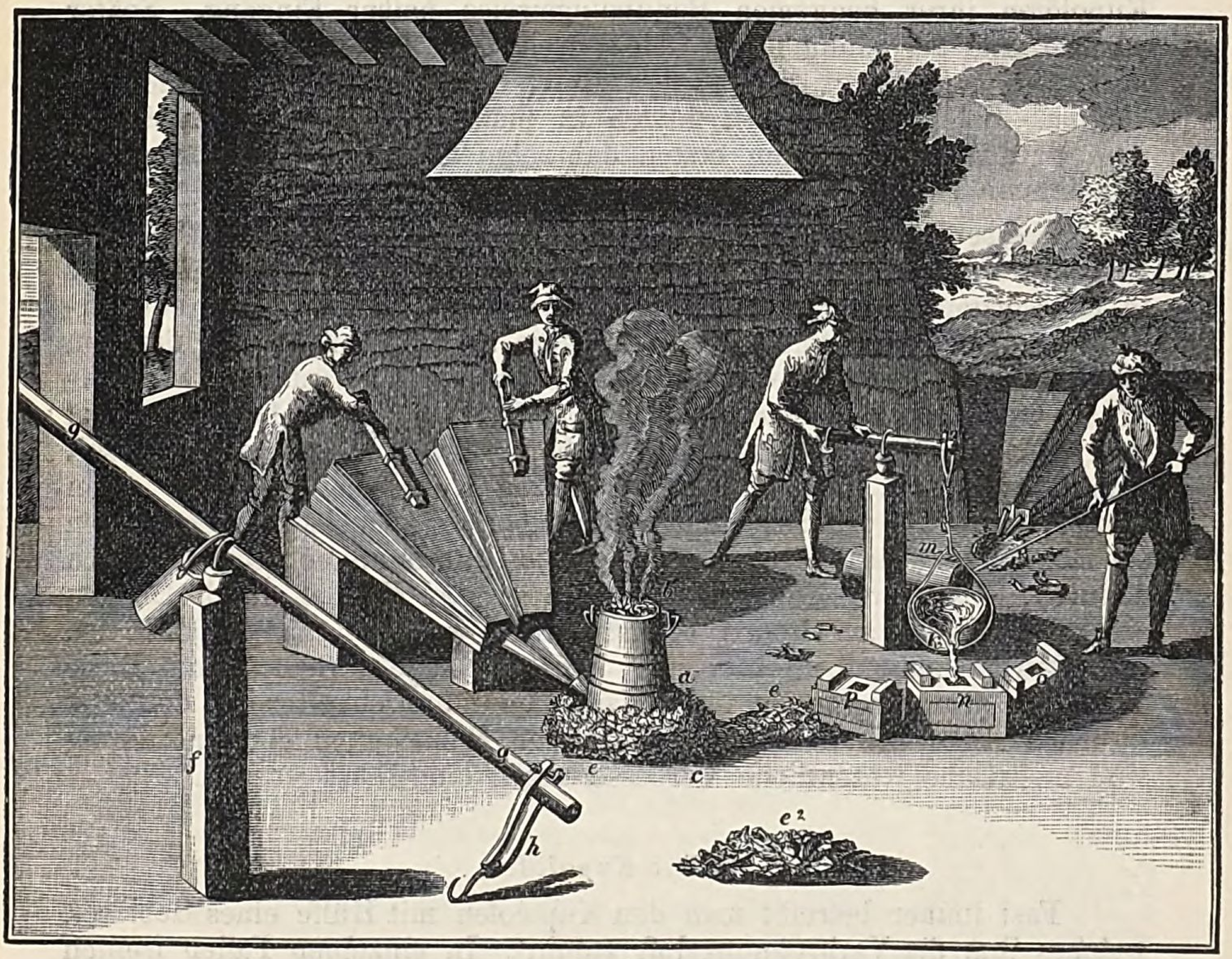
nannten Jahre erschienenen Werke des chinesischen Gelehrten Sung entnommen, zeigt einen solchen altchinesischen Kupolofen, zum Giessen eiserner Kessel bestimmt. Die Inschrift auf dem Ofen besagt: „Eisen wird hierin geschmolzen.“ Der Ofen zur Darstellung des Roheisens aus Erzen ist auf einem andern, hier nicht wiedergegebenen Blatte des erwähnten Buches abgebildet.[2]) Der Betrieb des Ofens erfolgt, wie die Abbildung erkennen lässt, durch ein von Hand betriebenes Kastengebläse. Solche Gebläse sind noch heute in China in Anwendung.

1) Woher die Benennung stammt, lässt sich nicht mit Sicherheit angeben. Wie es scheint, nannte man anfänglich die zum Umschmelzen des Roheisens bestimmten, mit einem Gewölbe überspannten Flammöfen mitunter Kupolöfen; durch eine Verwechselung der Begriffe wurde die Benennung später, als die Kupolöfen häufiger für den gleichen Zweck in Anwendung kamen, auf diese übertragen.

2) Eine Abbildung des letzteren Ofens ist in Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band 16, Seite 191 enthalten.

In Europa findet man die ersten Spuren kleiner, zum Umschmelzen von Roheisen (Alteisen) dienender Schachtöfen in Frankreich im Beginne des achtzehnten Jahrhunderts. Reisende Giesser zogen im Lande umher, um den Bedarf der Einwohner an kleinen Gusseisengegenständen — Töpfen, Kaminvorsetzern u. dergl. m. — zu decken. Um das erforderliche flüssige Metall zu erhalten, setzten sie einen oben und unten offenen und deshalb *la manche* genannten tragbaren Schacht[1]) von etwa 60 cm Höhe mit dem unteren Rande auf einen in den Erdboden eingegrabenen Tiegel oder eine Giesspfanne, verstrichen die Fuge mit

Fig. 192.



Lehm, füllten den Ofen mit Holzkohlen, bliesen durch eine seitliche Oeffnung Wind ein und begannen, wenn der Ofen sich in Weissgluth befand, mit dem Setzen des in kleine Stücke zerschlagenen Alteisens. Wenn die genügende Menge Eisen geschmolzen war, warf man den Schacht zur Seite, hob den Tiegel oder die Pfanne mit dem flüssigen Metalle empor und entleerte sie in die Gussform. In Fig. 192, aus dem im Jahre 1722 erschienenen Werke von Réaumur: „*L'art de*

1) Die Oefen hiessen daher *fours à manche*, und dieser Name blieb für Kupolöfen neben der später entstehenden Benennung *cubilot* bis zum dritten Jahrzehnt des neunzehnten Jahrhunderts üblich. Beispiel: Annales des mines, série 2, tome 6 (1829), p. 83.

convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que de fer forgé" stammend, ist diese Betriebsweise bildlich dargestellt. In der Mitte sieht man einen in Gluth befindlichen Ofen mit dem zugehörigen Gebläse; die darunter befindliche Pfanne ist nicht erkennbar, da ringsherum Holzkohlen aufgeschüttet sind. Rechts wird eine bereits gefüllte Pfanne in die Gussform entleert; dahinter liegt der zur Seite geworfene Schacht, und hinter diesem gewahrt man das für seinen Betrieb benutzte Gebläse und die Vertiefung des Erdbodens, in welcher die Pfanne beim Schmelzen sich befand.

Auch in grösseren Giessereien Frankreichs fanden diese kleinen Kupolöfen ihrer bequemen Benutzungsweise halber Eingang. Später ersetzte man sie häufig durch Oefen, welche im Boden geschlossen und in Zapfen aufgehängt waren, um durch Kippen entleert werden zu können. Solche Sturzöfen fanden in manchen Gegenden viel Beifall und wurden noch in den ersten Jahrzehnten des neunzehnten Jahrhunderts mehrfach benutzt.[1])

Grössere feststehende Oefen, zum Umschmelzen des Roheisens in Eisengiessereien bestimmt, erschienen zuerst um 1790 oder wenig früher in Grossbritannien. Ein Engländer Wilkinson führte sie ein oder erhielt wenigstens ein Patent auf besondere Eigenthümlichkeiten der von ihm gebauten Oefen; daher nannte man sie anfänglich häufig Wilkinsonöfen, und noch in Abhandlungen aus den vierziger Jahren begegnet man mitunter dieser Bezeichnung, neben welcher allerdings schon seit dem Beginne des Jahrhunderts der Name Kupolöfen auftaucht. Von den erwähnten älteren Schachtöfen zum Roheisenschmelzen unterscheiden sie sich nicht allein durch ihre grösseren Abmessungen, sondern auch dadurch, dass ihre Entleerung von flüssigem Metalle durch Oeffnen eines Stichloches am Boden bewirkt wird, wodurch man befähigt ist, den Betrieb ohne Unterbrechung beliebig lange fortzuführen. Diese Wilkinsonöfen stimmen in ihren Haupteigenthümlichkeiten mit den jetzt üblichen Kupolöfen überein; aber in den Einzelheiten der Anordnung sind mehrfache wesentliche Verbesserungen eingeführt worden.[2])

b) Die Kupolöfen.

Fast immer betreibt man den Kupolofen mit Hülfe eines Gebläses, welches ihm die Verbrennungsluft zuführt. In einzelnen Fällen freilich hat man die Anwendung eines Gebläses entbehrlich gemacht, indem man die Gicht durch einen Parryschen oder ähnlichen Gasfang schliesst und die Gase durch einen Dampfstrahl absaugt, welcher in das zur Ableitung der Gase dienende Rohr geleitet wird (Saugkupolöfen von

1) Abbildung eines kleinen Sturzofens, aus Réaumurs genanntem Werke entnommen, enthält „Stahl und Eisen" 1885, Blatt VII (Märzheft); ein grösserer Sturzofen aus dem Beginn des neunzehnten Jahrhunderts ist beschrieben in Norberg, Ueber die Produktion des Roheisens in Russland und über eine neue Schmelzmethode in Sturzöfen. Deutsch von Blumhof. Freiberg 1805.

2) Abbildungen von Wilkinsonöfen findet man unter anderen in: Annales des arts et manufactures, tome I, p. 156; Blumhof, Encyklopädie der Eisenhüttenkunde, Giessen 1816.

Woodward[1]) und Herbertz.[2]) Dem Vortheile der Ersparung des Gebläses steht bei diesen Oefen aber der Nachtheil eines höheren Dampfverbrauches[3]) und die Schwierigkeit gegenüber, grosse Mengen Roheisen rasch zu schmelzen. Ihre Anwendung ist daher ziemlich vereinzelt geblieben.

Die erforderliche Windspannung bei Gebläse-Kupolöfen braucht, wie unten ausführlicher begründet werden wird, niemals sehr hoch zu sein. Daher würde die Anwendung eines Cylindergebläses unzweckmässig sein, dessen Anlage und Wartung kostspielig ist, und dessen Wirkungsgrad um so ungünstiger ausfällt, je niedriger die zu erzeugende Windspannung ist. Centrifugalgebläse (auch Ventilatoren genannt) oder Kapselgebläse (Rootssches Gebläse, Krigars Schraubengebläse, Jägers Gebläse u. a.) genügen dem Zwecke,[4]) sind billiger und erfordern weniger Platz als ein Cylindergebläse.

Die Windmenge, welche ein solches Gebläse dem Kupolofen zuführt, lässt sich nur aus der Zusammensetzung der Gichtgase und der Menge des in der Minute verbrannten Kohlenstoffs, nicht aus der Windspannung und der Grösse des Ausflussquerschnitts berechnen, da die Widerstände, welche die Gase im Ofen finden, grösseren Einfluss auf die Windspannung ausüben als die Geschwindigkeit im Ausflussquerschnitte. Die Zusammensetzung der Gichtgase wird unten Besprechung finden; durchschnittlich kann man annehmen, dass für jedes Kilogramm verbrannten Kohlenstoffs der Ofen 8,5 cbm Wind erhält.[5])

Nicht selten betrachtete man früher den Kupolofen als eine kleine Abart des Hochofens und richtete dieser Anschauung gemäss die Windzuführung ein. Man vergass, dass in dem Hochofen Eisenerze reducirt werden sollen, während in dem Kupolofen nur bereits fertiges Roheisen umgeschmolzen wird. Für die Erfüllung der Aufgabe des Hochofens muss aller vor die Form gelangende Brennstoff zu Kohlenoxyd verbrannt werden; der Kupolofen vermag mit um so geringerem Aufwande an Brennstoff das Roheisen zu schmelzen, je reichlichere Mengen Kohlensäure vor den Formen gebildet werden.

Noch in den sechziger Jahren dieses Jahrhunderts waren die meisten Kupolöfen mit nur einer bis zwei engen Windformen versehen, durch welche eine verhältnissmässig geringe Menge hochgespannten Windes eingeblasen wurde. Die Verbrennung verlief ähnlich wie bei Hochöfen, und eine lange, blaue, aus der Gicht emporschlagende Flamme verrieth die reichliche Menge des in den Gichtgasen enthaltenen Kohlenoxydes. Nachdem man den Unterschied beider Ofengattungen besser zu würdigen gelernt hatte und hiernach die Einrichtung der Kupolöfen, zumal die Art und Weise der Windzuführung, änderte, er-

1) Berg- und hüttenmännische Zeitung 1866, Seite 44, 126; 1869, Seite 305.

2) „Stahl und Eisen" 1886, Seite 399 und 557; Glasers Annalen, Band 19, Seite 172.

3) Glasers Annalen, a. a. O.

4) Ueber die Einrichtung solcher Gebläse: von Hauer, Hüttenwesenmaschinen, Leipzig 1876, Seite 208; Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band 3, Seite 81; Dürre, Handbuch des Eisengiessereibetriebes, 3. Auflage, Band 1, Seite 655; A. von Ihering, Die Gebläse, Seite 250 und 281; „Stahl und Eisen" 1898, Seite 69.

5) Lürmann fand 8,23 cbm Wind für 1 kg Kohlenstoff. „Stahl und Eisen" 1891, Seite 309.

mässigte sich der erforderliche Brennstoffverbrauch zum Schmelzen der gleichen Roheisenmenge auf etwa ein Drittel des früheren.[1])

Die Lösung jener Aufgabe, vor den Formen vorwiegend Kohlensäure statt Kohlenoxyd zu erzeugen, wird durch die Erfüllung nachfolgend genannter Bedingungen ermöglicht.

Anwendung dichter Brennstoffe (vergl. Seite 43). Holzkohlen liefern daher — im Gegensatze zum Hochofenbetriebe — in allen Fällen ungünstigere Ergebnisse als Koks.

Rasches Aufsteigen der Gase, um eine allzu lange ausgedehnte Berührung mit den entgegenrückenden Brennstoffen und eine dadurch beförderte Reduction von Kohlensäure zu Kohlenoxyd auf Kosten des Brennstoffs zu vermeiden, also rascher Schmelzgang, herbeigeführt durch reichlich zugeführte Windmengen. Als erforderlichen Schachtquerschnitt im Schmelzraume zum Schmelzen von je 1000 kg Roheisen in einer Stunde kann man etwa 700 qcm rechnen, um so weniger, je vorzüglicher die Koks sind. Aus demselben Grunde würde auch eine zu reichlich bemessene Höhe des Kupolofens eher nachtheilig als vortheilhaft sein. Kleineren, für Giessereien bestimmten Kupolöfen mit 0,5 bis 1 m Schachtdurchmesser giebt man 2,5 bis 4 m Höhe über den Windformen, grossen Oefen mit 1,2 bis 2 m Durchmesser (für Bessemer- und Thomashütten) 4 bis 6 m Höhe über den Formen.

Schwache Pressung und reichliche Vertheilung des einströmenden Windes. Die Wirkung dieses Mittels hinsichtlich der reichlicheren Kohlensäurebildung wurde auf Seite 43 erläutert. Die Ausflussquerschnitte aus der Windleitung müssen so reichlich bemessen sein, dass die in der Leitung messbare Spannung fast nur durch den Widerstand, welchen die Gase im Ofen selbst finden, hervorgerufen wird. Dieser Widerstand wächst mit der Höhe des Ofens; damit aber der Wind bis zur Mitte des Ofens vordringen kann, muss die Windspannung auch mit dem Durchmesser des Ofens zunehmen. Bei kleinen Giessereikupolöfen von der angegebenen Höhe, welche stündlich nicht mehr als etwa 1 t Roheisen zu schmelzen bestimmt sind, kann schon eine Windspannung von 300 mm Wassersäule (0,03 kg auf 1 qcm) genügen, einen ausreichend raschen Luftwechsel zu veranlassen; bei grösseren Giessereikupolöfen bläst man mit einer Spannung von 400 bis 600 mm Wassersäule, bei grossen Oefen für Bessemer- und Thomashütten, welche stündlich 25 bis 30 t schmelzen sollen, mit 800 bis 1000 mm Wassersäule, und vereinzelt geht man, wenn die Höhe des Ofens sehr erheblich ist, bis auf 1400 mm.

Für den Gesammtquerschnitt der Windeinströmungsöffnungen (Formen) kann man $^1/_8$ bis $^1/_4$ des engsten Schachtquerschnittes rechnen, ohne fürchten zu müssen, zu reichliche Querschnitte zu erhalten. Ihre Anordnung, d. h. die Vertheilung der einzelnen Oeffnungen im Ofen, kann verschieden sein, und die zahlreichen

1) Dass dieser Erfolg möglich war, lässt sich erkennen, wenn man die Wärmeentwickelung der gleichen Menge Kohle bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd und zu Kohlensäure mit einander vergleicht. Im ersten Falle erfolgen 2470, im anderen 8080 W.-E. (Seite 51).

Kupolofenarten, welche im Laufe der Jahre in den Betrieb eingeführt wurden, unterscheiden sich im Wesentlichen nur durch die Anordnung der Windeinströmungen. Besondere Vorzüge der einen oder anderen Anordnung sind dabei selten zu erkennen, sofern nur der allgemeinen Regel, dem Windstrome reichlichen Querschnitt und reichliche Vertheilung zu geben, genügt wird. Bei einzelnen Kupolöfen gelangt der Wind durch kreisrunde Oeffnungen in den Ofen; bei anderen sind zwei Reihen solcher Oeffnungen in Abständen von 0,5 bis 1 m über einander angebracht, oder die Oeffnungen sind nach einer steilen Schraubenlinie angeordnet; noch andere Oefen haben längliche Schlitze als Einströmungen mit geringer Breite und bedeutender Höhe, wodurch die Vertheilung des Windes auf einen grossen Raum erleichtert wird. Die unten gegebenen Beispiele ausgeführter Kupolöfen werden einzelne dieser Anordnungen veranschaulichen.

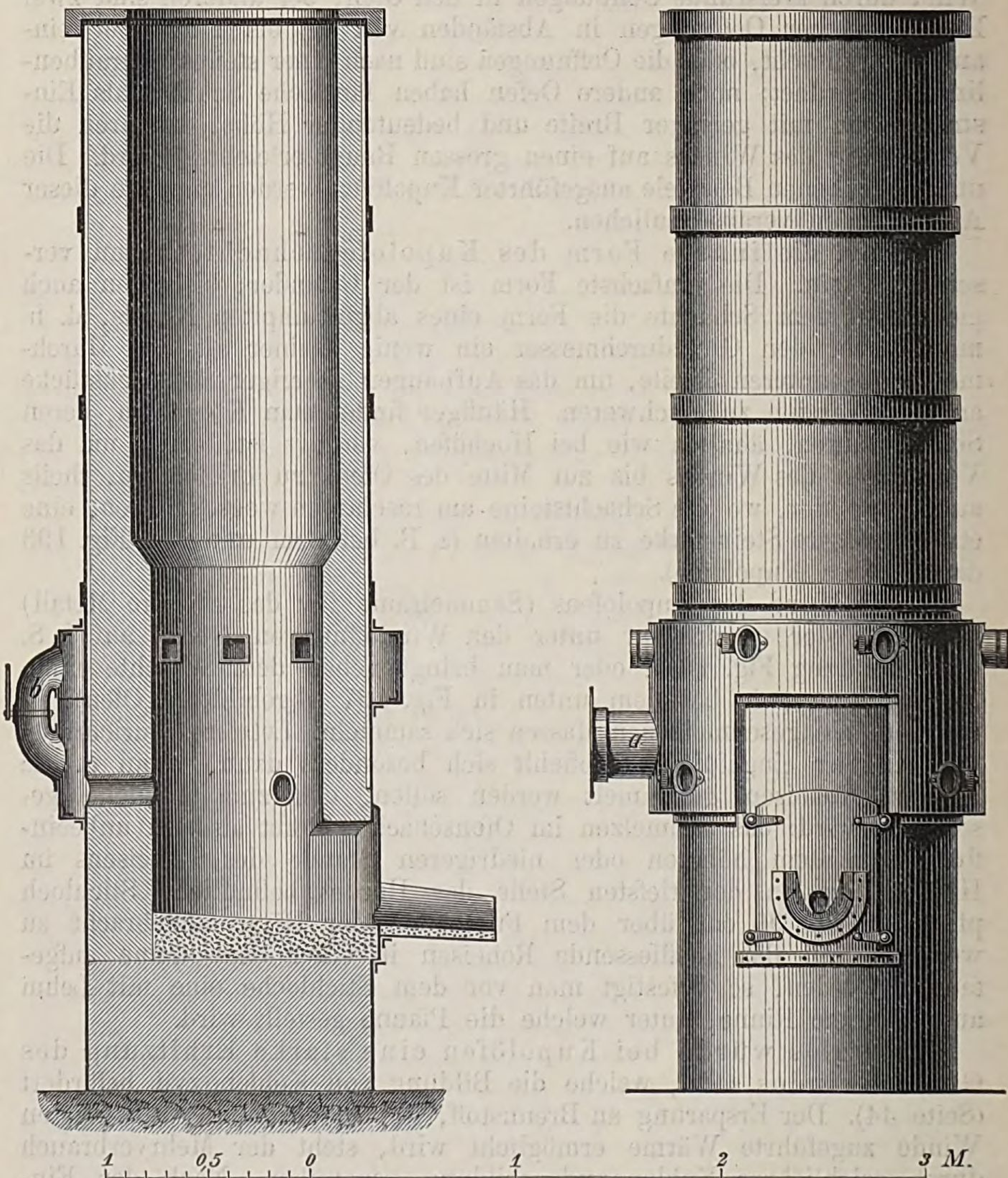
Auch die innere Form des Kupolofenschachtes kann verschieden sein. Die einfachste Form ist der Cylinder; bisweilen auch giebt man dem Schachte die Form eines abgestumpften Kegels, d. h. man macht den Gichtdurchmesser ein wenig kleiner als den Durchmesser im unteren Theile, um das Aufhängen sperriger Roheisenstücke an den Wänden zu erschweren. Häufiger findet man Kupolöfen, deren Schacht unten, ähnlich wie bei Hochöfen, verengt ist, theils um das Vordringen des Windes bis zur Mitte des Ofens zu erleichtern, theils auch, um hier, wo die Schachtsteine am raschesten wegschmelzen, eine etwas grössere Steinstärke zu erhalten (z. B. bei dem unten in Fig. 193 dargestellten Kupolofen).

Der Herd des Kupolofens (Sammelraum für das flüssige Metall) liegt entweder unmittelbar unter den Windöffnungen (vergl. auf f. S. die Abbildung Fig. 193), oder man bringt neben dem Schachte einen Vorherd an (wie bei dem unten in Fig. 197 abgebildeten Ofen), in welchem die geschmolzenen Massen sich sammeln. Letztere Einrichtung, von Krigar eingeführt, empfiehlt sich besonders dann, wenn grosse Mengen Roheisen gesammelt werden sollen, ehe zum Abstiche geschritten wird; das Schmelzen im Ofenschachte bleibt alsdann unbeeinflusst von dem höheren oder niedrigeren Stande des Roheisens im Herde. Das an der tiefsten Stelle des Herdes befindliche Stichloch pflegt 50 bis 90 cm über dem Fussboden der Hütte angebracht zu werden. Soll das ausfliessende Roheisen in einer Giesspfanne aufgefangen werden, so befestigt man vor dem Stichloche eine mit Lehm ausgekleidete Rinne, unter welche die Pfanne gestellt wird.

Nutzlos würde bei Kupolöfen eine starke Erhitzung des Gebläsewindes sein, welche die Bildung von Kohlenoxyd befördert (Seite 44). Der Ersparung an Brennstoff, welche durch die vom heissen Winde zugeführte Wärme ermöglicht wird, steht der Mehrverbrauch durch reichlichere Kohlenoxydgasbildung gegenüber. Nach der Einführung der Winderhitzung bei Hochöfen ging man, angespornt durch die hierbei erlangten günstigen Ergebnisse und befangen in unklaren Anschauungen über die eigentliche Wirkungsweise des heissen Windes, vielfach daran, auch bei dem Kupolofenbetriebe dieses Mittel anzuwenden; aber bald überzeugte man sich von dessen Zwecklosigkeit, welche um so deutlicher hervortrat, je mehr man lernte, durch Befolgung der in

Vorstehendem aufgeführten Regeln den früheren hohen Brennstoffverbrauch der Kupolöfen auf ein geringeres Maass abzumindern. Eine Erwärmung des Windes auf Temperaturen unter 100 ° C., welche man bisweilen bewirkt hat, indem man den Wind durch Kanäle im Ofen-

Fig. 193. Fig. 194.



gemäuer hindurchführte, ist zwar ohne Nachtheil, aber auch ohne Nutzen.

Für den Aufbau der Kupolöfen pflegt man Schamotteziegeln zu benutzen, deren Stärke 200 bis 600 mm beträgt. Bei Giessereikupolöfen, welche täglich nur einige Stunden im Betriebe zu sein pflegen,

kann die Stärke des Ofenfutters geringer bemessen werden, als bei solchen für Bessemer- und Thomashütten, welche in der Regel sechs Tage lang ununterbrochen im Betriebe bleiben sollen. Zum Schutze bekommt der Ofen einen Mantel aus Eisenblech.

Kühlungen, ähnlich den Kühlungen der Hochöfen, sind bislang nur vereinzelt zur Anwendung gebracht worden, da jeder Kupolofen sich rasch in und ausser Betrieb setzen lässt und deshalb Ausbesserungen des Mauerwerkes sich leicht vornehmen lassen. Auch eine vollständige Auswechselung ist in kurzer Zeit zu bewirken. Hier und da hat man allerdings den Schmelzraum des Kupolofens vollständig mit einem wassergekühlten Mantel aus Eisenblech ohne jede Steinausfüllung umgeben; aber obgleich die Versuche zeigten, dass der Mantel sich gut hielt und der Brennstoffverbrauch nicht erheblich stieg, hat das Verfahren doch nur wenig Nachahmung gefunden. [1])

Einige Beispiele bewährter Kupolöfen mögen als Ergänzung der gegebenen Mittheilungen dienen.

In Fig. 193 und 194 ist eine vielfach angewendete Kupolofenform abgebildet, deren Haupteigenthümlichkeit in der Anordnung zweier Reihen Windöffnungen über einander in einem Abstande von wenigen Centimetern bis 1 m besteht. Oefen mit derartiger Windvertheilung wurden in den sechziger Jahren zuerst von dem Engländer Ireland gebaut und werden deshalb auch jetzt noch bisweilen Irelandöfen genannt. Die Einrichtung ermöglicht die Anbringung einer grösseren Zahl von Oeffnungen als in einer einzelnen Reihe und befördert unmittelbar die Vertheilung des Windes auf einen grösseren Raum. Bei dem abgebildeten Ofen enthält die untere Reihe drei grössere, die obere sechs kleinere Oeffnungen. Früher gab man der oberen Reihe häufig einen kleineren Gesammtquerschnitt als der unteren; bei neueren Oefen pflegt man für beide Reihen gleiche Querschnitte zu wählen. Dass bei dem abgebildeten Ofen die oberen Oeffnungen quadratischen, die unteren kreisrunden Querschnitt besitzen, ist nebensächlich; häufig giebt man, wie schon erwähnt, den Oeffnungen in beiden Reihen die Form senkrecht stehender Schlitze und legt die Reihen dicht über einander.

Der vom Gebläse kommende Wind gelangt bei dem abgebildeten Ofen zunächst in einen an dem Blechmantel befestigten, ringsherum laufenden Vertheilungskanal, der, wie der Mantel, aus Eisenblech gefertigt ist, und aus diesem nach jenen Windeinströmungsöffnungen. Eine Theilung des Vertheilungskanales durch eine Scheidewand in eine obere und untere Hälfte ist zweckmässig, damit man im Stande sei, bei Inbetriebsetzung des Ofens zunächst allein durch die unteren Oeffnungen zu blasen. Indem man hierbei die Verbrennung auf den unteren Theil des Ofens beschränkt, wärmt man diesen stärker an und verhütet leichter eine Abkühlung des später ankommenden flüssigen Roheisens. Die Abbildung lässt diese Einrichtung erkennen. Der Wind gelangt durch das Rohr *a* von aussen in die untere Abtheilung des Vertheilungskanales, durch das mit Drosselklappe versehene Rohr *b* in die obere Abtheilung.

1) Näheres hierüber: Berg- und hüttenmännische Zeitung 1878, Seite 149 (Gröditzer Kupolofen); Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 526 (Gmelins Kupolofen).

Damit man die Vorgänge im Innern beobachten und nöthigenfalls Reinigungen der Windöffnungen vornehmen könne, ist hinter jeder der letzteren in der Aussenwand des Vertheilungskanales eine durch eine Glimmerplatte verschlossene Schauöffnung angebracht, welche sich öffnen lässt, wenn eine Eisenstange eingeschoben werden soll. In Fig. 194 sind mehrere dieser Schauöffnungen sichtbar.

Eine Oeffnung zum Einsteigen in den Ofen befindet sich bei diesem Ofen an der Vorderseite. Sie wird während des Schmelzens vermauert, wobei unten eine entsprechend weite Stichöffnung gelassen wird. Damit nicht der Druck des sich sammelnden Roheisens die ein-

Fig. 195.

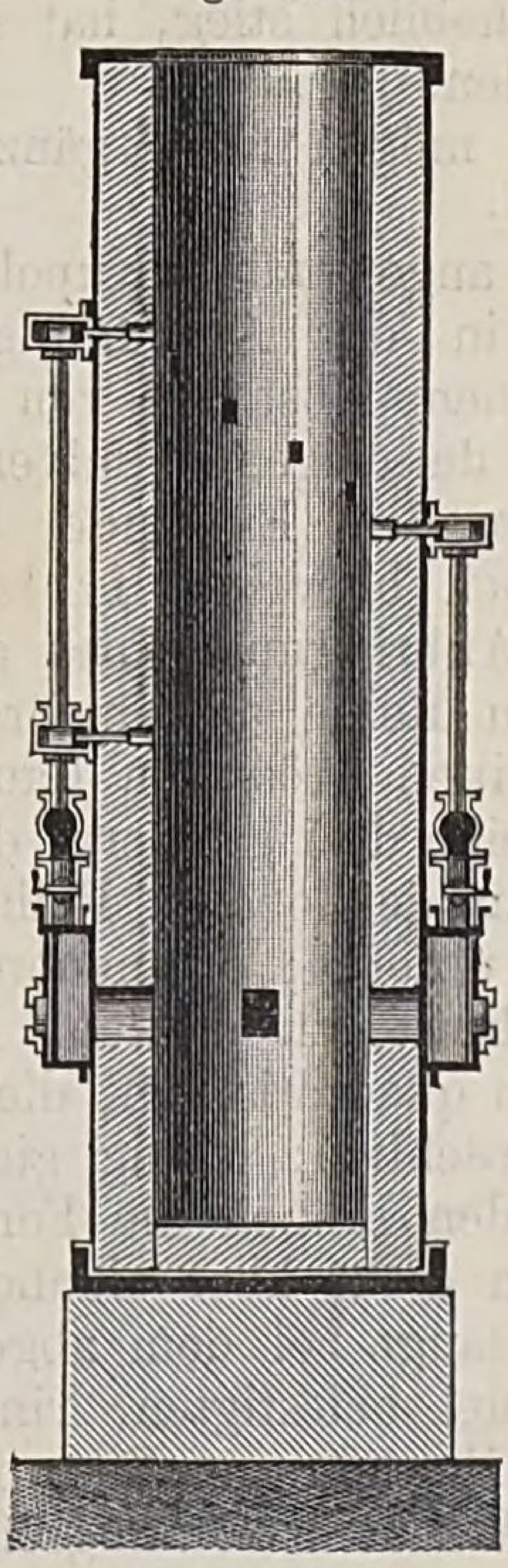
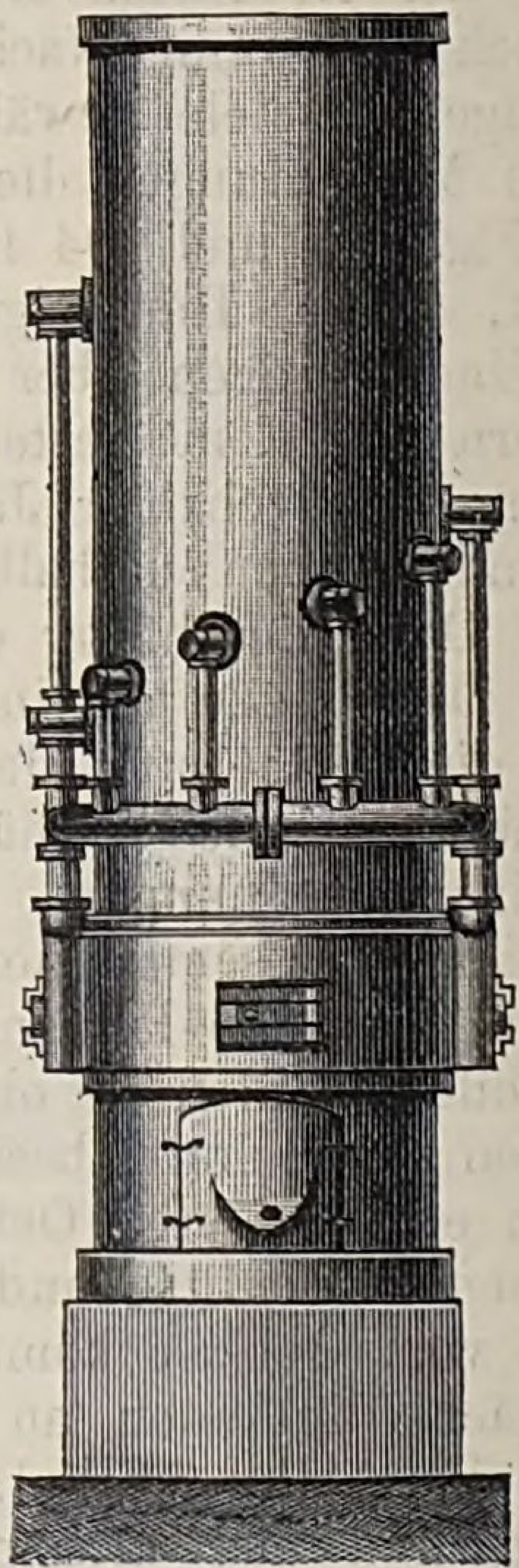


Fig. 196.



gesetzten Steine aus ihrer Lage bringe, wird vor der Oeffnung eine Eisenblechthür befestigt, an welcher hier eine Gussrinne aus Eisenblech angenietet ist. Die Thür wird von einem Stück Winkeleisen getragen, welches unterhalb an den Blechmantel des Ofens angenietet ist.

Mitunter hat man bei Oefen dieser Art die Windformen nach einer Schraubenlinie angeordnet, um eine noch bessere Vertheilung des Windes zu erzielen; oder man hat eine Reihe Windformen im Kreise, wie bisher, vertheilt und eine zweite Reihe darüber nach einer Schraubenlinie. Ein Ofen der letztern Art, von Greiner und Erpf gebaut und im Anfange der neunziger Jahre ziemlich häufig benutzt, ist in Fig. 195 und 196 dargestellt. Wie man sieht, ist die Schraubenlinie der obern Formenreihe ziemlich steil und steigt bis fast zur Gicht

Krigar-Kupolofen.

1/50 der wirklichen Grösse.

Fig. 197.

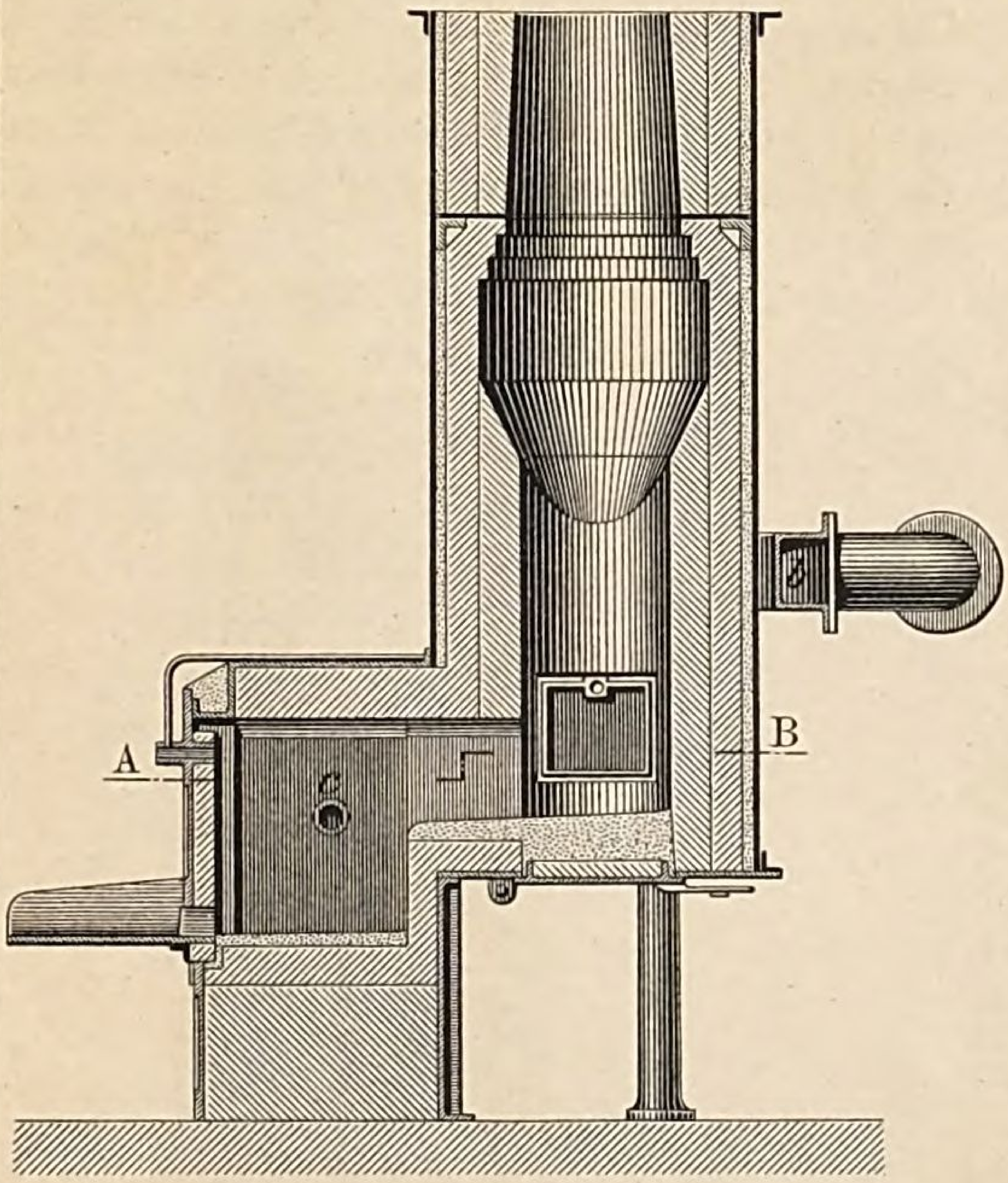


Fig. 199.

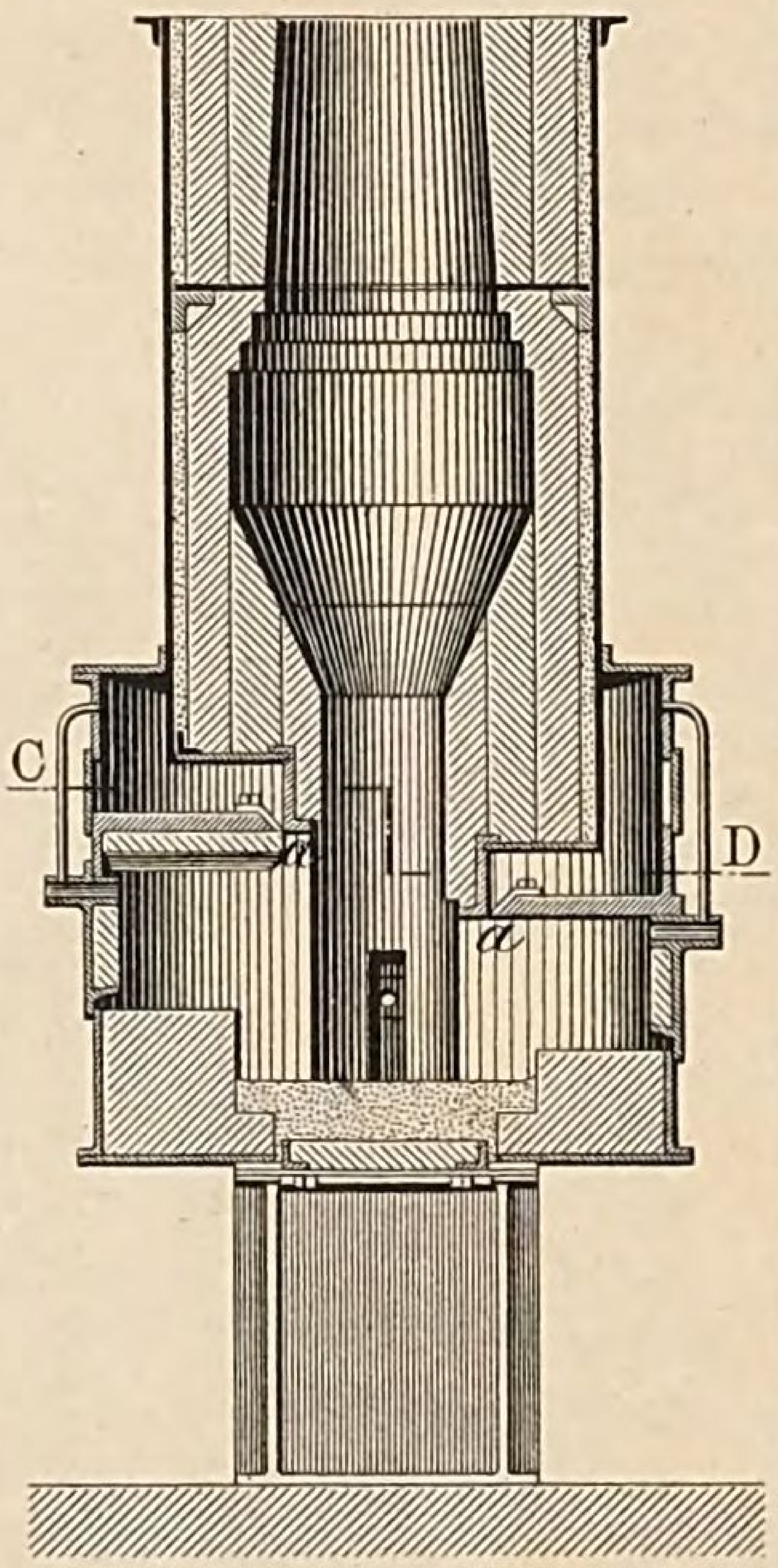


Fig. 198.
Schnitt nach
A-B.

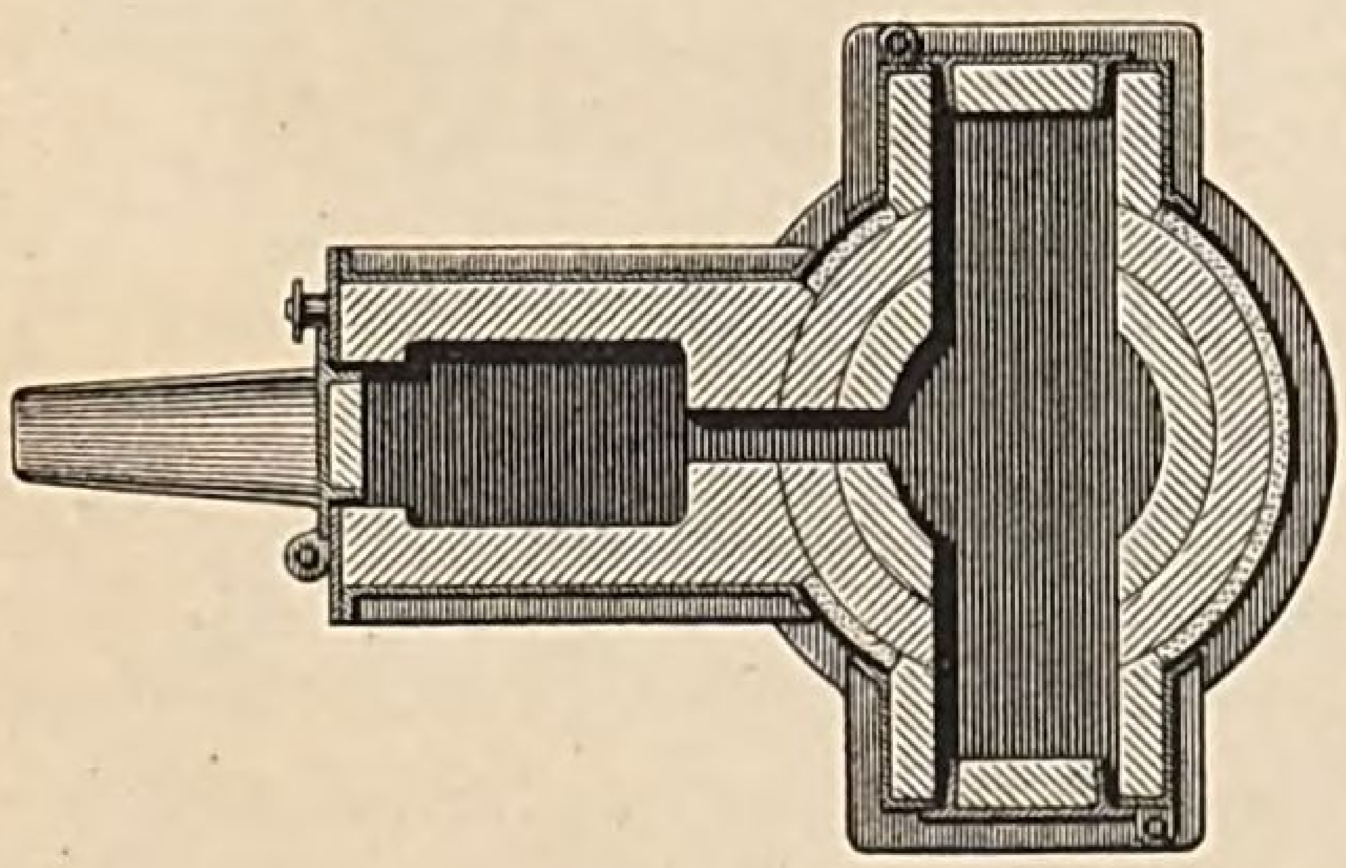
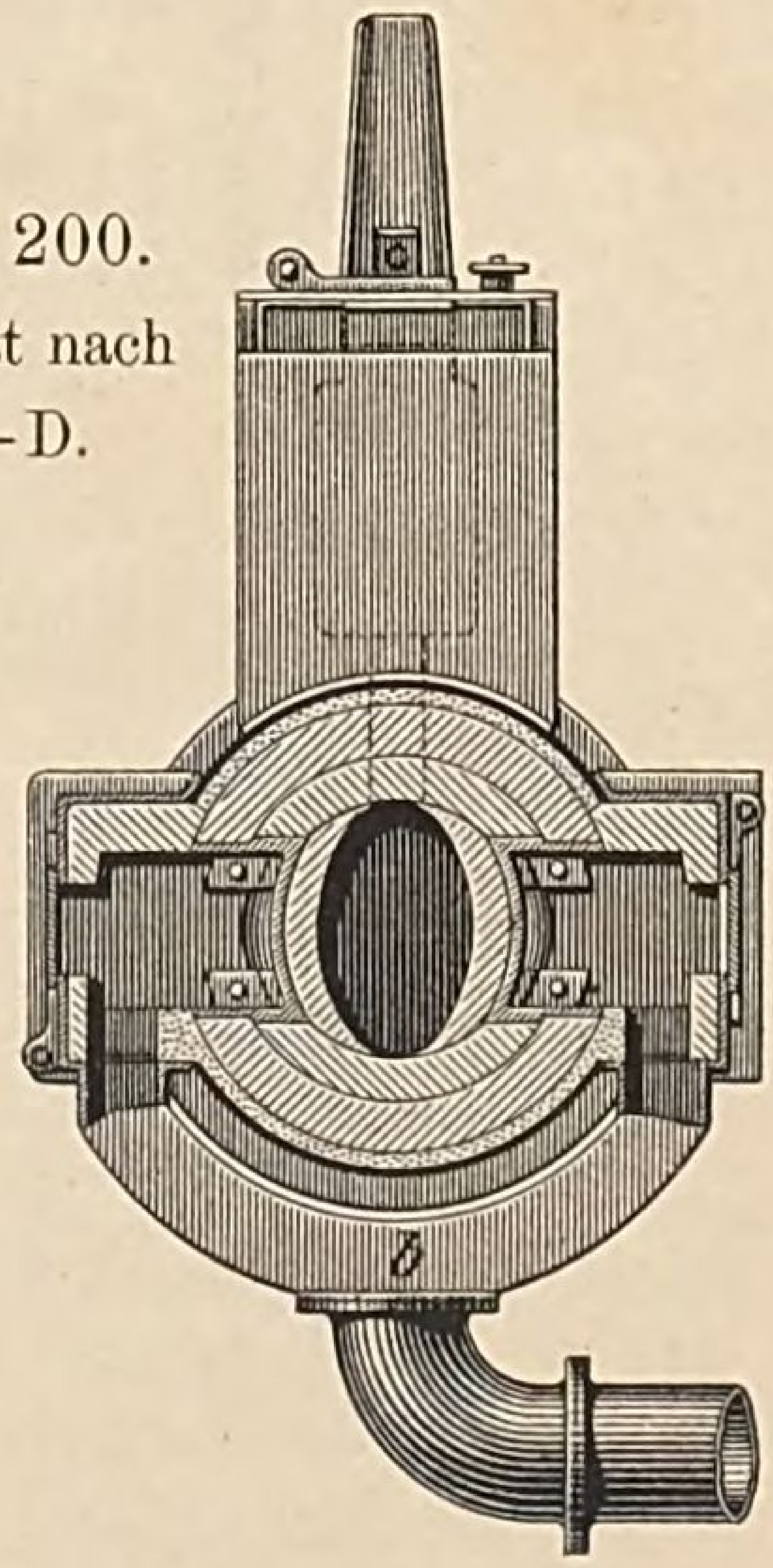


Fig. 200.
Schnitt nach
C-D.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

empor, während jede einzelne Form nur einen ziemlich kleinen Durchmesser besitzt. Man beabsichtigt durch diese Einrichtung, das vor den unteren Formen etwa entstandene Kohlenoxyd durch den oben zugeführten Wind zu Kohlensäure zu verbrennen; um zu verhüten, dass hierbei eine beträchtliche Temperatursteigerung eintrete, welche die Wiederreduktion der Kohlensäure zu Kohlenoxyd auf Kosten der Kohle zur Folge haben würde, sind eben die Windformen in ziemlich weiten Abständen auf die sich lang ausdehnende Schraubenlinie vertheilt.

Jede einzelne Windform der oberen Reihe lässt sich verschliessen, so dass man durch einen Versuch feststellen kann, in welcher Höhe über den Formen Wind zugeleitet werden darf, ohne dass ein Erglühen der Koks eintritt, während ein blaues Flämmchen anzeigt, dass in der That Kohlenoxydgas verbrennt. Die untere Formenreihe erhält ihren Wind, wie bei vielen anderen Kupolöfen, von einem ringsherum laufenden Vertheilungskanale aus, die obere Formenreihe durch senkrechte Düsenrohre, welche von einem gemeinschaftlichen Ringrohre ausgehen, und deren jedes mit einer Drosselklappe versehen ist, damit man für jede einzelne Form die Windmenge regeln kann.

Der Ofen liefert bei sorgfältiger Beaufsichtigung der einzelnen Windformen recht gute Ergebnisse. Verabsäumt man aber diese Beaufsichtigung, so kann es geschehen, dass entweder ein Erglühen der Koks in dem obern Theil des Ofens eintritt, also auf's Neue Kohlenoxyd gebildet wird, oder dass Luft an Stellen zugeführt wird, wo das Kohlenoxydgas bereits allzu verdünnt und die Temperatur allzu niedrig ist, als dass überhaupt noch ein Verbrennen möglich wäre. Das Gebläse gebraucht in diesem Falle Arbeit zur Beschaffung der Luft, ohne dass ein Nutzen erzielt würde.

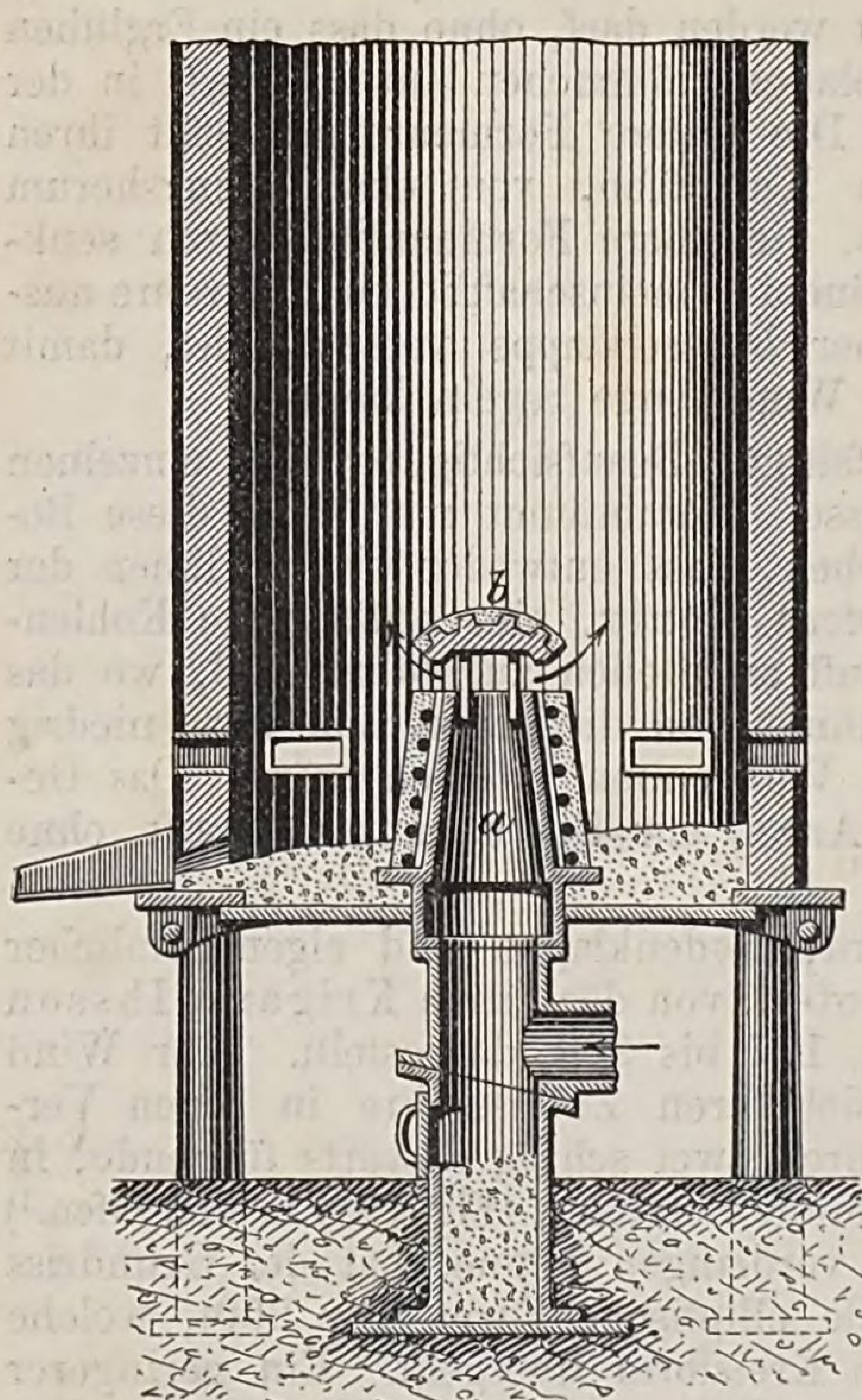
Ein Kupolofen mit Vorherd, Bodenklappe und eigenthümlicher Windzuführung (Krigar-Kupolofen, von der Firma Krigar & Ihssen in Hannover gebaut) ist in Fig. 197 bis 200 dargestellt. Der Wind gelangt aus dem in Fig. 200 sichtbaren Zuflussrohre in einen Vertheilungskanal *b* und von hier durch zwei schräg abwärts führende, in verschiedener Höhe angeordnete breite Schlitze *a* (Fig. 198) in den Ofen.[1]) Damit er leichter bis zur Mitte vordringen könne, hat der Grundriss des Ofenschachts in diesem Theile elliptische Form (Fig. 200), welche erst in dem obern Theile in die Kreisform übergeht. Ein geringerer Theil des Windes wird durch enge Röhren den in Fig. 197 und 198 sichtbaren Schauöffnungen zu- und von hier in den Ofen geführt. Die Einrichtung des Vorherdes sowie dessen Verbindung mit dem Ofenschachte ist aus den Abbildungen erkennbar; ebenso die Einrichtung der Bodenklappe, welche in bequemer Weise die Entleerung des Ofens nach dem Schmelzen von zurückgebliebenen Koks und Schlacken ermöglicht. Statt des vierseitigen, durch Gusseisenplatten eingerahmten Vorherdes hat man mehrfach einen kreisrunden, durch einen Blechmantel eingefassten Vorherd gewählt. Bei *c* (Fig. 197) ist eine Oeff-

1) Bei den älteren, durch H. Krigar in den sechziger Jahren eingeführten Oefen, welche jetzt noch zum Theil im Betriebe sind und befriedigende Ergebnisse liefern, fehlte die Bodenplatte des Windkastens bei *a*, so dass der Wind, statt durch Schlitze, durch die ganze breite und bis auf die Sohle reichende Oeffnung eintrat.

nung zum Ablassen der auf dem Metalle schwimmenden Schlacke aus dem Vorherde angebracht.

Je grösser der Durchmesser des Ofens ist, desto schwieriger gelangt der Wind bei den beschriebenen Ofenformen bis zur Ofenmitte, desto grösser ist demnach die Gefahr, dass die hier befindlichen Kohlen unverbrannt bleiben und der Ofenquerschnitt nicht voll ausgenutzt werde. Eine zur Beseitigung des Uebelstandes übermässig gesteigerte Windspannung aber würde eine vermehrte Kohlenoxydbildung veranlassen. Bei der in Fig. 201 dargestellten, von dem Amerikaner West eingeführten Einrichtung des Kupolofens wird der Uebelstand dadurch vermieden, dass ein Theil des Windes von der Mitte aus in den Ofen geführt wird. Das Zuleitungsrohr *a* ist mit feuerfestem Thon in dicker Schicht umkleidet, welcher durch Längsrippen und darüber gelegte Schmiedeeisenringe festgehalten wird; darüber befindet sich die pilzförmige Haube *b*, aus Gusseisen in einer Stärke von 30 mm gefertigt und mit aufgegossenen Rippen versehen, welche zum Festhalten der Thonbekleidung dienen. Sie wird durch drei 30 mm starke Schmiedeeisenstäbe getragen, welche in das Rohr eingesteckt werden. In dem Fusse des Windrohrs ist eine durch einen Deckel verschlossene Oeffnung zur Entfernung von Schlacken und Koksstücken angebracht. Der äussere Wind wird durch sechs Schlitze von je 406 mm Breite und 75 mm Höhe eingeführt.

Fig. 201.



Der abgebildete Ofen hat 1675 mm innere Weite; das Windeinströmungsrohr hat am oberen Ende einen Durchmesser von 200 mm, der Abstand der Haube von der Mündung des Rohrs beträgt 63 mm. Der Ofen ist, wie der zuvor abgebildete Krigarofen, mit Bodenklappe versehen. Mehrere solcher Oefen sind auf amerikanischen Werken seit 1893 im Betriebe und sollen sich gut bewährt haben.

c) Das Schmelzen und die Betriebsergebnisse.

Als Brennstoffe dienen, wie oben erwähnt wurde, Koks. Holzkohlen kommen nur in Ländern zur Verwendung, wo die Beschaffung

1) Th. D. West, Metallurgy of cast iron, Cleveland 1897, Seite 195.

geeigneter Schmelzkoks mit unverhältnissmässig grossen Schwierigkeiten und Kosten verknüpft sein würde. Man gebraucht zum Schmelzen der gleichen Menge Roheisen doppelt bis dreimal so viel Holzkohlen als Koks.

Das Arbeitsverfahren ist ziemlich einfach.

Nachdem der Schacht und Herd vorgerichtet worden sind, entzündet man auf dem Boden des Herdes ein Feuer aus Holz, Torf oder sonstigen leicht entzündlichen Brennstoffen, schüttet dann allmählich Koks in die Gluth, damit auch diese sich entzünden, und füllt nun den Ofen bis etwa zur Hälfte seiner Höhe mit Koks. Den Koks setzt man eine zur Verschlackung ihres Aschengehaltes und zur Bindung des Schwefelgehaltes ausreichende Menge Kalkstein zu. Auf je 1 Gewichtstheil Asche kann man $1^1/_2$ bis 2 Gewichtstheile Kalkstein rechnen; bei Verwendung von Koks mit 10 v. H. Asche würden also auf je 100 Gewichtstheile Koks 15 bis 20 Gewichtstheile Kalkstein zuzuschlagen sein. Eine etwas reichliche Bemessung des Kalksteinzuschlages schadet nicht. Versäumt man, schon den Füllkoks Kalkstein zuzuschlagen, so ist das zuerst im Herde ankommende Roheisen, welches zwischen den Koks hindurch seinen Weg nimmt, fast immer schwefelreich und deshalb dickflüssig, weiss, hart.

Durch das noch offene Stichloch, sowie durch etwa offen gelassene Schauöffnungen lässt man inzwischen Luft zuströmen, um das Feuer zu unterhalten. Sind die Koks vor den Windöffnungen in volle Gluth gekommen, so kann der Ofen mit abwechselnden Gichten von Koks und Roheisen vollständig gefüllt und dann das Gebläse angelassen werden. Jeder Koksgicht wird wieder ein entsprechender Zuschlag von Kalkstein gegeben. Man bläst sogleich mit voller Spannung. Das Stichloch bleibt vorläufig noch geöffnet, damit ein Theil der Gase hier entweiche und den Herd gut anwärme. Damit dieses Ziel erreicht und das zuerst ankommende Roheisen nicht etwa durch die Berührung mit den kälteren Herdwänden abgekühlt werde, darf der Durchmesser des Stichloches nicht zu eng sein. Mitunter hat man es sogar zweckmässig gefunden, zur Erzielung einer starken Vorwärmung des Herdes an seinem Umfange mehrere Austrittsöffnungen für die Gase anzubringen. Wenn das Roheisen anfängt auszufliessen, werden das Stichloch und die etwa sonst noch angebrachten Oeffnungen durch Thonpfropfen geschlossen, und das Schmelzen nimmt nunmehr ununterbrochen seinen Fortgang, indem man von Zeit zu Zeit das geschmolzene Roheisen nebst der angesammelten Schlacke durch Oeffnen des Stichloches entfernt.

Das Verhältniss zwischen der Grösse der Roheisen- und Koksgichten richtet sich nach der Beschaffenheit der Koks, der Einrichtung des Ofens, der Windführung und der Ueberhitzung, welche das geschmolzene Roheisen erhalten soll. In den günstigsten Fällen kann man 20 Gewichtstheile Roheisen mit 1 Gewichtstheil Koks schmelzen; häufiger beträgt der Roheisensatz nur das 10—15fache vom Gewichte der Koks; dauert das Schmelzen längere Zeit (in Bessemer- und Thomashütten), so pflegt jenes Verhältniss ungünstiger zu sein als bei einem Schmelzen von wenigen Stunden, wo die von den Füllkoks beim Beginne des Schmelzens entwickelte reichliche Wärmemenge eine an-

fängliche starke Erhitzung des ganzen Ofens herbeiführt, die alsdann auch dem schmelzenden Roheisen zu Gute kommt. Fehlerhaft würde es deshalb sein, wenn man etwa, wie beim Anblasen eines Hochofens, mit schwächeren Roheisengichten beginnen und später den Satz steigern wollte.

Die zweckmässigste Grösse der Koksgichten hängt vom Gichtdurchmesser ab. Als passendes Verhältniss kann man für je 1 qm Gichtquerschnitt einen einmaligen Kokssatz von 80 kg rechnen und den Roheisensatz den oben besprochenen Verhältnissen entsprechend bemessen. Die Erfahrung muss schliesslich für die zulässige Höhe des Roheisensatzes den Ausschlag geben.

Mit dem Aufgichten von Koks, Roheisen und Kalkstein wird so lange fortgefahren, als das Schmelzen währen soll. Alsdann bläst man nieder, öffnet, wenn alles Roheisen geschmolzen ist, den Ofen, räumt die noch rückständigen Koks aus (welche nach dem Ablöschen mit Wasser wieder zum Füllen benutzt werden können) und lässt den Ofen erkalten, um am folgenden Tage das Schachtfutter und die Herdsohle einer Ausbesserung zu unterziehen.

Kupolöfen mittlerer Grösse pflegen stündlich 4 bis 6 t Roheisen, sehr grosse Oefen 30 t und darüber zu schmelzen, wobei der Brennstoffverbrauch einschliesslich der benutzten Füllkoks 70 bis 150 kg für eine Tonne geschmolzenes Roheisen beträgt. Kupolöfen für Giessereien werden gewöhnlich nur stundenweise täglich in Benutzung genommen; Kupolöfen für Bessemer- und Thomashütten werden mehrere Tage hindurch in ununterbrochenem Betriebe erhalten, bis eine Ausbesserung des Ofenfutters sich erforderlich macht.

Durch Oxydation und mechanische Verluste entsteht eine Verminderung des Roheisengewichts (Abbrand), welche gewöhnlich 3 bis 6 v. H. des Einsatzgewichts beträgt.

Vergleicht man die mitgetheilten Betriebsergebnisse des Kupolofenschmelzens mit denen des Flammofenschmelzens, so ergiebt sich zunächst, dass die Wärmeausnutzung im Kupolofen bedeutend günstiger ist. Der Kupolofen ist aber auch bequemer für die Benutzung, da man nach Belieben grössere oder kleinere Mengen Roheisen in ihm schmelzen und in jedem Augenblicke ihm geschmolzenes Metall entnehmen kann; und endlich ist die chemische Beeinflussung, welche das schmelzende Roheisen erfährt, im Kupolofen durchschnittlich weniger erheblich als im Flammofen, wie sogleich eingehender erörtert werden soll.

Daher bildet die Benutzung des Kupolofens zum Umschmelzen von Roheisen die Regel, die Benutzung eines Tiegel- oder Flammofens die Ausnahme, welche allerdings durch besondere, oben erläuterte Umstände ihre Berechtigung erhalten kann.

d) Der chemische Verlauf des Kupolofenschmelzens.

Wenn man zur Ersparung an Brennstoff beim Kupolofenschmelzen die Verbrennung so zu leiten sucht, dass das Verhältniss des entstehenden Kohlenoxydes zur Kohlensäure möglichst gering ausfalle, so müssen die Verbrennungsgase um so stärker oxydirend wirken, je mehr man sich dem angestrebten Ziele nähert, d. h. je kohlenoxydärmer und kohlensäurereicher der Gasstrom wird. In den alten, mit reichlichem

Brennstoffaufwande betriebenen Kupolöfen fand nur unbedeutende oder gar keine Oxydation statt.

Die Aenderungen, welche das Roheisen beim Schmelzen in modernen Kupolöfen erfährt, sind demnach denen, welche das Flammofenschmelzen bewirkt, ähnlich; aber ihr Maass ist auch in einem mit sehr geringem Brennstoffaufwande schmelzenden Kupolofen durchschnittlich geringer. Während das Metall im Flammofen stundenlang der Einwirkung der heissen Verbrennungsgase preisgegeben ist, schmilzt es im Kupolofen meistens in längstens 30 Minuten, sickert zwischen den glühenden Koksstücken hindurch, welche ihm immerhin einen gewissen Schutz bieten, und sammelt sich unterhalb des Verbrennungsraumes, durch die reichlich gebildete Schlacke vor weiterer Verbrennung nunmehr gesichert.

Wie beim Flammofenschmelzen wird ein Theil des in reichem Ueberschusse anwesenden Eisens und daneben des Mangans und Siliciums verbrannt.

Die Verbrennung des Mangans wird auch hier durch die Berührung mit den kieselsäurereichen Ofenwänden befördert. Ein mässiger Mangangehalt vermag daher, indem er selbst der Verbrennung sich aussetzt, das Silicium vor Verbrennung zu schützen, und bei sehr hohem Mangangehalte und niedrigem Siliciumgehalte kann sogar der Fall eintreten, dass noch Silicium aus der Schlacke durch Mangan reducirt wird.

So z. B. fand E. v. Köppen beim einmaligen Umschmelzen verschiedener manganreicher Roheisensorten im Kupolofen nachstehende Aenderungen der chemischen Zusammensetzung: [1])

	Vor dem Umschmelzen			Nach dem Umschmelzen		
	Mn	C	Si	Mn	C	Si
Spiegeleisen	14,81	3,98	0,14	8,91	4,13	0,50
desgl.	14,25	4,40	0,12	10,52	4,62	0,49
desgl.	14,98	4,48	0,12	11,06	4,60	0,42
desgl.	16,24	4,62	0,40	10,98	4,96	0,66
desgl.	14,93	3,63	0,33	12,03	3,67	0,41
Graues Bessemerroheisen	3,67	4,58	2,27	2,58	4,67	2,44

In allen Fällen fand hier neben starkem Manganverluste eine Zunahme des Silicium- und auch Kohlenstoffgehaltes statt, welche sich zwar theils aus der Verringerung der Gesammtmenge des Roheisens, theils aber auch aus der stattgehabten Siliciumreduction durch Mangan erklärt.

Beim Verschmelzen weniger manganreichen Roheisens als bei den vorstehend erwähnten Versuchen pflegt, wenn man das Verhalten verschiedener Roheisensorten mit einander vergleicht, doch auch insofern der Einfluss des Mangans erkennbar zu sein, als das manganreichere Roheisen weniger Silicium als das manganärmere verliert.

In Gutehoffnungshütte wurden durch Scheffer in einem kleinen Kupolofen mit gewöhnlichem kieselsäurereichen Futter drei verschiedene Sorten grauen Roheisens je einem viermaligen Umschmelzen unterzogen.

1) Dinglers polyt. Journal, Band 232, Seite 53

Die Zusammensetzung vor dem ersten und nach dem vierten Umschmelzen war folgende:[1])

Name des Roheisen	Vor dem Umschmelzen					Nach dem Umschmelzen				
	C	Si	Mn	Cu	P	C	Si	Mn	Cu	P
Coltness I	4,06	2,52	1,27	0,05	0,73	3,49	2,08	0,46	0,06	0,87
Gutehoffnungshütte I .	4,15	2,05	0,77	0,06	0,61	3,46	1,55	0,12	0,05	0,72
Gleiwitz	4,17	1,52	2,08	0,07	0,33	3,68	1,33	0,73	0,07	0,47

Das manganreichste Roheisen verliert auch die grösste Menge Mangan; aber je mehr Mangan austritt, desto unbedeutender ist die Beeinflussung des Siliciumgehaltes. Das manganarme Roheisen von Gutehoffnungshütte verliert 0,50 v. H. Silicium, während das manganreiche Gleiwitzer Roheisen nur 0,19 v. H. einbüsst. Bezieht man die Verringerung des Siliciumgehaltes auf dessen ursprünglichen Betrag, so findet man, dass von diesem

bei Gutehoffnungshütte	Coltness	Gleiwitz
24,6 v. H.	17,6 v. H.	12,7 v. H.

austraten. Es folgt hieraus, dass, obgleich ein Mangangehalt an und für sich dem Roheisen die Neigung ertheilt, weiss, hart zu werden, doch ein graues Roheisen ein um so öfteres Umschmelzen in Oefen mit kieselsäurereichem Futter erträgt, ohne in Folge des Siliciumverlustes weiss zu werden, je reicher es ursprünglich an Mangan war.

Dass durch reichlichen Kalkzuschlag die Neigung des Mangans, zu verbrennen, abgemindert, die des Siliciums gesteigert werden kann, lässt sich annehmen, ohne dass bis jetzt vergleichende Versuche darüber vorlägen.

Falls diese eintretende Abnahme des Mangangehaltes und Siliciumgehaltes beim Kupolofenschmelzen die Verwendbarkeit des Roheisens für diesen oder jenen Zweck beeinträchtigen sollte, lässt sich Ausgleich schaffen, indem man ein entsprechend mangan- oder siliciumreicheres Roheisen zum Umschmelzen verwendet. Von diesem Mittel wird z. B. in den Eisengiessereien ein ausgiebiger Gebrauch gemacht. Für die meisten Gusswaaren ist ein mässig graphitreiches und deshalb durch schneidende Werkzeuge (Meissel, Drehstahl u. a.) leicht bearbeitbares Roheisen erforderlich. Da der Graphitgehalt nur bei einem gewissen Siliciumgehalte bestehen kann, dieser aber beim Umschmelzen sich zu verringern pflegt, wird das Roheisen beim Umschmelzen auch graphitärmer, und ein Eisen, welches an und für sich gut brauchbar für einen bestimmten Zweck wäre, würde an Brauchbarkeit verlieren, wenn es zuvor umgeschmolzen werden müsste. Ein mehrmals wiederholtes Umschmelzen würde schliesslich eine Umwandlung des grauen Roheisens in siliciumarmes, weisses Eisen herbeiführen. Man schmelzt also ein an Silicium um so viel reicheres Roheisen ein, als dem Siliciumverluste beim Umschmelzen entspricht. Nun aber ist man vielfach

1) Die Zusammenstellung der Ergebnisse sämmtlicher Untersuchungen (auch nach dem ersten, zweiten und dritten Umschmelzen) findet der Leser im Jahrbuche für Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1880, Seite 5.

gezwungen, auch ein siliciumärmeres Eisen, insbesondere ein schon umgeschmolzenes Roheisen — Abfälle in der Giesserei, Ausschussstücke und dergleichen — mit aufzuarbeiten, und gerade für diesen Fall gelangt der Werth jenes früher besprochenen silicium- und graphitreichen Roheisens, welches im Handel als Nr. I bezeichnet zu werden pflegt, zur Geltung, durch dessen Zusatz der fehlende Siliciumgehalt wieder gedeckt wird, und welches deshalb ein unentbehrliches Material in allen den Eisengiessereien bildet, welche das Roheisen in eigenen Schmelzöfen umschmelzen. Dass auch durch Zusatz einer geringeren Menge Siliciumeisen sich der gleiche Zweck erreichen lässt, ist selbstverständlich; aber die Anwendung dieses Mittels scheint kostspieliger zu sein.

Ebenso wie in der Giesserei verfährt man beim Umschmelzen des Roheisens für andere Verfahren, bei denen ein bestimmter Siliciumgehalt des geschmolzenen Metalles erforderlich ist (Bessemern).

Der Kohlenstoffgehalt des Roheisens pflegt beim Umschmelzen keinen erheblichen Aenderungen zu unterliegen. Er kann sich verringern, wenn er ursprünglich hoch und das Roheisen manganarm war; und er kann durch Aufnahme aus den weissglühenden Brennstoffen, über welche das Roheisen hinwegrieselt, eine Anreicherung erfahren, wenn das Roheisen noch nicht den seinem Sättigungsvermögen entsprechenden Kohlenstoffgehalt besass und das Schmelzen mit einem reichlichen Aufwande von Brennstoff stattfand. Ein hoher Mangangehalt schützt auch den Kohlenstoffgehalt vor dem Verbrennen. Aus diesen Gründen ist bei Köppens oben mitgetheilten Versuchen der Kohlenstoffgehalt nach dem Umschmelzen (bei welchem die Gesammtmenge des Metalles, in welchem der Kohlenstoff enthalten ist, sich verringert) durchgängig etwas höher, bei Scheffers Versuchen dagegen niedriger geworden. Jüngst fand nach sechsmaligem Umschmelzen eines Roheisens, dessen Kohlenstoffgehalt nur 3,10 v. H. betrug, also ziemlich niedrig war, eine stattgehabte Anreicherung auf 3,34 v. H., während der Mangangehalt von 2,00 auf 0,36, der Siliciumgehalt von 2,30 auf 1,16 v. H. gesunken war.[1]) Je tiefer der Kohlenstoffgehalt des Roheisens vor dem Umschmelzen unter dem Sättigungspunkte liegt, desto leichter findet eine Kohlenstoffaufnahme durch die Berührung mit den glühenden Kohlen statt, auch wenn die Oxydationswirkung des Ofens so kräftig sein sollte, dass von dem Mangan- und Siliciumgehalte ein reichlicher Theil austritt.

Aus diesem Grunde ist es auch möglich, schmiedbares Eisen im Kupolofen zu schmelzen, ohne dass dieses sich durch Aufnahme reichlicher Mengen Kohlenstoff in Roheisen umwandelt. Stahlabfälle, welche zur Erzeugung des in der dritten Abtheilung besprochenen Temperstahlgusses im Kupolofen geschmolzen waren, enthielten nach öfteren von mir angestellten Untersuchungen nach dem Schmelzen nie weniger als 2,9, häufig mehr als 3,3 v. H. Kohlenstoff.

Der Phosphorgehalt des Roheisens verringert sich beim Schmelzen in Kupolöfen mit kieselsäurereichem Futter in der Regel nicht; da aber die Menge des Roheisens, in welchem er vertheilt ist, durch Ver-

1) C. Jüngst, Schmelzversuche mit Ferrosilicium, Seite 98.

brennen von Eisen, Mangan und Silicium beim Schmelzen abnimmt, erscheint der Phosphorgehalt nach dem Schmelzen meistens in höherer Ziffer als zuvor. Scheffers oben mitgetheilte Versuche können auch hierfür als Beispiele dienen. Auch bei folgenden von C. Müller veröffentlichten Versuchsergebnissen[1]) zeigt sich diese Zunahme des Phosphorgehalts:

	Gesammt C	Graphit	Si	Mn	P	S
Roheisen vor dem Umschmelzen	3,89	3,61	2,97	0,71	0,68	0,024
„ nach sechsmaligem „	3,56	2,64	1,65	0,35	0,75	0,056

Beim Umschmelzen sehr phosphorreichen und siliciumarmen Roheisens (Thomasroheisens) kann dagegen eine, wenn auch nicht erhebliche, Abnahme des Phosphorgehalts eintreten, zumal wenn das Schmelzen im stark oxydirenden Gasstrome (bei geringem Brennstoffaufwande) stattfindet, so dass eine an Eisenoxydul reiche Schlacke entsteht. Auf einem rheinischen Werke war z. B. die durchschnittliche, durch Untersuchung mehrerer Proben ermittelte Zusammensetzung des Roheisens vor und nach dem Schmelzen:[2])

	C	Si	P	Mn	S
Vor dem Schmelzen . . .	3,32	0,60	1,59	1,70	0,06
Nach „ „ . . .	3,11	0,37	1,40	1,19	nicht best.

Aehnliche Ergebnisse erhielt man bei Untersuchungen auf anderen Werken.[3]) In allen diesen Fällen findet sich der verbrannte Phosphorgehalt in der miterfolgenden Schlacke wieder (vergleiche die unten gegebenen Analysen von Kupolofenschlacken).

Der Schwefelgehalt kann beim Kupolofenschmelzen eine Anreicherung erfahren, sofern man versäumt, einen dem Schwefelgehalte der Koks entsprechenden Kalksteinzuschlag zu geben. Je manganärmer das Roheisen ist, desto leichter findet eine solche Schwefelaufnahme statt. Bei Jüngsts oben erwähnten Versuchen blieb der ursprüngliche Schwefelgehalt (0,06 v. H.) bei den ersten drei Umschmelzen annähernd unverändert, stieg nach dem vierten Umschmelzen auf 0,10 und nach dem sechsten Umschmelzen auf 0,20 v. H. Auch die mitgetheilten Versuchsergebnisse Müllers zeigen eine Anreicherung des Schwefelgehalts nach sechsmaligem Umschmelzen, obschon nicht in dem Maasse, wie bei Jüngsts Versuchen.

Der Gehalt des Roheisens an Kupfer, Nickel, Arsen, Antimon erfährt keine deutlich wahrnehmbaren Veränderungen.

Aus den verbrannten Bestandtheilen des Roheisens, den aufgelösten Bestandtheilen des Ofenfutters und dem zugesetzten Kalk entsteht eine Schlacke, deren Zusammensetzung ziemlich abweichend sein

1) „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 154.
2) Persönliche Mittheilung.
3) „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 135.

kann, je nachdem man viel oder wenig Kalkstein zuschlug, viel oder wenig Brennstoff gebrauchte, ein manganreicheres oder manganärmeres Roheisen verschmolz. Je höher der Mangangehalt war, desto mehr bleibt das Eisen vor der Verbrennung geschützt, desto eisenärmer fällt die Schlacke aus. Auch bei reichlichem Kalksteinzuschlag entsteht eine eisenärmere Schlacke als bei geringerem Zusatze, weil die Schlackenmenge, von der das verbrannte Eisen aufgenommen wird, beträchtlicher ist. Einige Beispiele der Zusammensetzung von Kupolofenschlacken mögen als Erläuterung hierfür dienen.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Kieselsäure	60,05	56,04	55,01	50,77	55,15	37,05	37,55
Thonerde	18,00	11,55	11,61	13,24	6,74	11,08	9,48
Eisenoxydul	4,61	15,34	14,91	18,52	9,14	1,59	9,64
Manganoxydul	8,29	4,02	1,06	3,58	6,78	14,09	18,68
Kalkerde	6,29	9,74	15,05	12,75	18,78	29,64	18,54
Magnesia	0,25	0.51	0,49	0,75	n. best.	0,79	0,74
Kaliumoxyd	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	„	n. best.	n. best.
Calcium	0,41	0,21	0,28	„	0,29	1,98	0,88
Schwefel	0,33	0,17	0,22	„	0,23	1,58	0,70
Phosphorsäure	—	—	—	—	—	0,10	3,20

Nr. 1 ist eine Kupolofenschlacke aus früherer Zeit, als „gare“ Kupolofenschlacke bezeichnet; von mir untersucht. Sie ist jedenfalls bei dem Betriebe mit Holzkohlen und bei hohem Brennstoffaufwande — also in kohlenoxydreichem Gasstrome — auch bei nur geringem Kalksteinzuschlage erfolgt. — Nr. 2 und 3 sind Schlacken aus hannoverschen Eisengiessereien, von Fischer untersucht.[1]) — Nr. 4 und 5 sind Schlacken von Giessereikupolöfen, von mir untersucht. — Nr. 6 ist die Schlacke eines Kupolofens, welcher weisses phosphorreiches Roheisen für das Thomasverfahren einschmolz; von mir untersucht. — Nr. 7 ist ebenfalls die Schlacke eines für das Thomasverfahren betriebenen Kupolofens. Das verschmolzene Roheisen enthielt 2,0 v. H. Mn, 0,5 v. H. Si, 2,75 v. H. Phosphor. Nach Schilling.[2])

Die kalkreichste Schlacke (Nr. 6) ist hier auch die schwefelreichste. Thatsächlich ist in diesem Falle nicht allein der Schwefelgehalt der Koks von der Schlacke aufgenommen worden, sondern auch der Schwefelgehalt des Roheisens hat sich verringert. Er besass vor dem Schmelzen das ungewöhnlich hohe Maass von 0,42 v. H., nach dem Schmelzen nur noch 0,09 v. H. Von den beiden Schlacken, welche beim Schmelzen phosphorreichen Weisseisens entstanden (Nr. 6 und 7), ist diejenige die phosphorreichste, welche den grössten Eisenoxydulgehalt besitzt.

Manganreiche Kupolofenschlacken benutzt man bisweilen als Zusatz zum Hochofenschmelzen, um ihren Mangangehalt zu verwerthen. Auch zu Bauzwecken werden die Kupolofenschlacken mitunter wie Hochofenschlacken (Seite 614) verwendet; im Ganzen ist ihre Verwendung minder wichtig als die der Hochofenschlacken, weil sie in weniger grosser Menge erfolgen.

Die beim Kupolofenschmelzen erzielte Ausnutzung des Brennstoffs spiegelt sich in der Zusammensetzung der Gichtgase. Je mehr Kohlensäure und je weniger Kohlenoxyd sie enthalten, desto mehr Wärme wurde durch die gleiche Brennstoffmenge entwickelt.

1) Dinglers polyt. Journal, Band 231, Seite 38.
2) „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 135.

Beispiele der Zusammensetzung:

	Stickstoff	Kohlensäure	Kohlenoxydgas	Sauerstoff
	Raumtheile			
Gase aus älteren Kupolöfen (1844); nach Ebelmen[1])	73.36	11,65	14,16	—
Wie vorstehend	73,96	11,60	13,56	—
Gase eines Krigarofens; Mittelwerthe aus 20 Untersuchungen. Nach Fischer[2])	79,7	16,4	3,9	—
Gase eines anderen Krigarofens; Mittelwerthe aus 6 Untersuchungen. Nach Fischer[2])	81,6	13,3	5,1	—
Gase eines neueren Kupolofens, Mittelwerth aus 7 Untersuchungen. Nach Fischer[2])	79,5	13,1	7,4	—
Wie vorstehend. Mittelwerthe aus 15 Untersuchungen. Nach Fischer[2]).	78,5	15,1	6,4	—
Gase eines Irelandofens. Nach Beckert[3]) . . .	n. best.	13,8	4,0	—
Wie vorstehend	„	12,5	11,7	—
Wie vorstehend	„	15,0	8,0	—
Gase eines Kupolofens von Greiner & Erpf[4]). .	79,9	18,7	1,2	—
Gase eines Saugkupolofens von Herbertz. Nach Beckert[3]).	n. best.	10.5	—	6,7
Wie vorstehend	„	11,7	3,4	8,2

In dem Ofen von Greiner & Erpf und in dem Herbertzofen hat demnach die vollständigste Verbrennung stattgefunden; in dem letzteren freilich unter Zuführung eines reichlichen Luftüberschusses, also unter Verbrauch einer entsprechend grösseren Dampfmenge zur Erzeugung des Luftwechsels.

2. Die Reinigung des Roheisens.

A. Allgemeines.

Wenn das Roheisen Fremdkörper enthält, welche bei seiner späteren Verarbeitung nachtheilig sind, kann eine jener Verarbeitung vorausgehende Behandlung des Roheisens, durch welche die Fremdkörper ganz oder theilweise ausgeschieden werden, von Nutzen sein. Dieses Reinigungsverfahren nennt man Feinen oder Läutern des Roheisens. Es kommt vorzugsweise bei solchem Roheisen zur Anwendung, welches für die Verarbeitung zu schmiedbarem Eisen bestimmt ist.

Die Körper, welche sich ganz oder theilweise ausscheiden lassen ohne dass auch der Kohlenstoffgehalt austritt,[5]) sind vornehmlich Silicium, Mangan, Phosphor, Schwefel. Nicht ausscheidbar sind Kupfer, Nickel, Kobalt, Arsen, Antimon, wie früher erläutert wurde.

B. Die Ausscheidung des Siliciums und Mangans.

Beim Flammofen- und Kupolofenschmelzen findet eine theilweise Ausscheidung von Silicium und Mangan statt; durch Verstärkung der

1) Annales des mines, série 4, tome 5, p. 61.
2) Dinglers polyt. Journal, Band 231, Seite 38.
3) „Stahl und Eisen" 1886, Seite 557.
4) Journal of the Iron and Steel Institute 1888 II, p. 247.
5) Eine Ausscheidung des Kohlenstoffgehaltes würde gleichbedeutend sein mit einer Darstellung schmiedbaren Eisens aus Roheisen. Das Verfahren würde zu den Frischverfahren gehören, welche in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde Besprechung finden.

Oxydationswirkung, also durch Einleiten von Luft oder durch Zusatz sauerstoffabgebender Körper, z. B. Eisenoxyd, lässt sich eine vollständigere Ausscheidung erzielen.

Der eigentliche Zweck des Verfahrens pflegt die Entfernung des Siliciums zu sein; diese aber lässt sich nicht bewirken, ohne dass auch die grösste Menge des Mangans mit verbrannt wird, und wie beim gewöhnlichen Schmelzen im Flamm- oder Kupolofen geht unvermeidlicher Weise auch eine gewisse Menge des Eisens mit in die Schlacke.

In früherer Zeit, als graues Roheisen für die Giesserei das Haupterzeugniss fast aller Hochöfen bildete, und man nur das für die Giesserei entbehrliche Roheisen auf schmiedbares Eisen zu verarbeiten pflegte, spielte das Feinen des grauen Roheisens eine ziemlich wichtige Rolle.[1]) Indem man es seines Siliciumgehaltes (und Mangangehaltes, falls solcher zugegen war) beraubte, das graue Roheisen in weisses Roheisen umwandelte, kürzte man den Verlauf des späteren Frischverfahrens, die Ausscheidung des Kohlenstoffs, ab; der Frischofen wurde stärker ausgenutzt, seine Leistung vergrössert. Seitdem aber der Bedarf an schmiedbarem Eisen und somit auch an weissem Roheisen gegen früher erheblich gestiegen ist, und seitdem man gelernt hat, mit grösserer Sicherheit als früher Roheisen von bestimmter Beschaffenheit im Hochofen zu erzeugen, hat auch das Feinen seine Bedeutung verloren. Denn die Erzeugung eines siliciumarmen Weisseisens im Hochofen ist nach Früherem billiger als die Erzeugung von Graueisen; es würde widersinnig sein, zuerst Graueisen darzustellen, um es durch ein späteres Verfahren in Weisseisen umzuwandeln. Nur in Gegenden, wo besondere Verhältnisse, z. B. ein hoher Thonerdegehalt und geringer Mangangehalt der Erze, die Erzeugung eines siliciumarmen Weisseisens erschweren, findet man hier und da noch, wenn auch selten, die alten Verfahren in Anwendung.

Im Hochofen selbst bewirkt man mitunter das Feinen, indem man durch eine abwärts gerichtete Düse Wind auf die Oberfläche des im Herde stehenden Roheisens bläst. Das Verfahren ist beendet, wenn das Eisen anfängt, Funken zu werfen, ein Zeichen der eintretenden Verbrennung von Kohle. Oder man lässt durch die Formen feingepulverte Eisenerze oder eisenoxydreiche Frischschlacken vom Winde in den Ofen blasen, welches Verfahren man Futtern des Hochofens nennt. Es hat jedoch den Uebelstand, dass es häufig einen mehrtägigen Rohgang veranlasst. Bei Holzkohlenhochöfen, welche unmittelbar für die Giesserei betrieben werden, wendet man es trotzdem mitunter an, wenn das erblasene Roheisen zu siliciumreich ausgefallen ist und daher beim Erstarren allzu reichliche Mengen Graphit aussondert.

In Oberschlesien bediente man sich in den vierziger Jahren eines mit Gas geheizten Flammofens, auf dessen Herde das Roheisen geschmolzen und durch darüber geleiteten Gebläsewind gefeint wurde.

1) Der Ausdruck „Feinen“ ist hier im engeren Sinne: Ausscheidung des Siliciums, gebraucht, wie es früher üblich war, bevor man auch Phosphor und Schwefel auszuscheiden gelernt hatte.

Der Ofen wurde unter dem Namen Eckscher Feinofen ausführlich in Zeitschriften und metallurgischen Handbüchern besprochen.[1])

In anderen Fällen benutzte man ein niedriges, von gekühlten Gusseisenplatten eingeschlossenes Feuer zum Feinen,[2]) in welchem das Roheisen unter hohem Koksverbrauche zwischen zwei einander gegenüberliegenden, abwärts gerichteten Düsen niedergeschmolzen wurde. Durch Zusatz eisenreicher Schlacken beim Schmelzen beförderte man die Verbrennung des Siliciums. Man gebrauchte zum Schmelzen und Feinen von 1000 kg Roheisen etwa 300 kg Koks und hatte einen Abbrand von etwa 10 v. H. des Roheisengewichtes. Das Verfahren war demnach ziemlich kostspielig.

Gefeintes Roheisen besitzt weisse Farbe und ein feinkörniges, dem des grellen Roheisens ähnliches Gefüge. Sein Kohlenstoffgehalt pflegt 3 bis 3,5 v. H., sein Siliciumgehalt und sein Mangangehalt nicht über 0,2 v. H. zu betragen.

Die miterfolgende Schlacke ist reich an Eisenoxydul; übrigens enthält sie Manganoxydul, Kieselsäure (zum grossen Theil aus dem Boden des Feinofens oder Feuers aufgelöst) und sonstige Nebenbestandtheile; z. B.:

	1.	2.
Kieselsäure	25,77	36,80
Eisenoxydul	65,52	43,93
Manganoxydul	1,57	7,23
Thonerde	3,60	4,12
Kalkerde	0,45	4,51
Magnesia	1,28	1,16
Phosphorsäure	3,00	0,42

1. Englische Feinfeuerschlacke; nach Percy (Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, Seite 33).
2. Feinfeuerschlacke aus Laurahütte; vom Verfasser untersucht.

C. Die Entphosphorung des Roheisens.

Bei den Verfahren der Schweisseisendarstellung aus Roheisen ist es zwar möglich, einen Theil von dessen Phosphorgehalt abzuscheiden, aber im Allgemeinen bleibt das Enderzeugniss um so phosphorreicher, je höher der Phosphorgehalt des verwendeten Roheisens ist; bei den bis zum Jahre 1879 angewendeten Verfahren der Flusseisenerzeugung gelang eine Phosphorabscheidung überhaupt nicht.

Seitdem man die nachteiligen Einflüsse, welche ein Phosphorgehalt auf das Verhalten des schmiedbaren Eisens ausübt, erkannt hatte, ist man daher vielfach bemüht gewesen, durch ein Vorbereitungsverfahren dem für die Darstellung schmiedbaren Eisens bestimmten Roheisen seinen Phosphorgehalt ganz oder theilweise zu entziehen.

Eine Abscheidung des Phosphors vor dem Kohlenstoff ist möglich, wenn das geschmolzene Roheisen in einer seine Schmelztemperatur

1) Z. B. Karstens Archiv für Mineralogie 1843, Seite 795; Berg- und hüttenmännische Zeitung 1843, Seite 611; 1846, Seite 833. Auch Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, Seite 35.

2) Unter der Bezeichnung „englisches Feinfeuer“ in zahlreichen Werken über Eisenhüttenkunde besprochen, z. B. Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde, Seite 282; Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, Seite 28.

nicht erheblich übersteigenden Temperatur oxydirenden Einflüssen bei Anwesenheit stark basischer Schlacken ausgesetzt wird (Seite 318). Mit dem Phosphor aber scheidet alles Silicium und der grösste Theil des Mangans aus. Als Oxydationsmittel dienen am zweckmässigsten Eisenoxyde (Erze, Hammerschlag, eisenreiche Schlacken), weil diese zugleich die Bildung basischer und doch ausreichend schmelzbarer Schlacken ermöglichen.

In Berührung mit einem kieselsäurereichen Ofenfutter, aus welchem durch basische Körper stets Kieselsäure aufgelöst wird, kann eine ausreichend basische Schlacke nicht entstehen. Das Gefäss oder der Ofen, in welchem die Entphosphorung vor sich geht, darf daher nicht mit kieselsäurereichen Ofenbaumaterialien ausgekleidet sein.

Die Nichtbeachtung dieser Thatsache hat früher zu zahlreichen Misserfolgen geführt. Die oben erwähnten Flammöfen zum Feinen des Roheisens wurden in der Hoffnung gebaut, dass in dem oxydirenden Gasstrome auch eine Entphosphorung des Roheisens stattfinden werde; der Erfolg war, dass der Phosphorgehalt eines Roheisens sich beim Schmelzen wegen des stattfindenden Abbrandes von 0,49 auf 0,57 v. H. erhöhte. Etwas günstiger sind die Verhältnisse im Feinfeuer, dessen Seitenwände aus gekühlten Gusseisenplatten bestehen, so dass nur der aus Sand oder Masse gefertigte Boden Kieselsäure abgiebt. Die oben mitgetheilten Schlackenanalysen zeigen, dass wenigstens eine beschränkte Menge Phosphor in die Schlacke geführt werden kann, um so mehr, je basischer diese ist.

Dem Engländer Sir Lowthian Bell gebührt vornehmlich das Verdienst, durch zahlreiche Versuche die für die Phosphorabscheidung aus Roheisen zu erfüllenden Bedingungen genauer erforscht zu haben.[1] Im Laufe der siebziger Jahre veröffentlichte er alsdann ein für den Betrieb im Grossen bestimmtes Verfahren für den in Rede stehenden Zweck.

Bei diesem Bellschen Entphosphorungsverfahren wurde das zuvor im Kupolofen geschmolzene oder auch unmittelbar aus dem Hochofen kommende flüssige Roheisen mit ebenfalls geschmolzenen oder doch gut vorgewärmten eisenoxydreichen Körpern — Hammerschlag, Frischschlacken, Eisenerzen — gemischt und dann, nachdem die Einwirkung stattgefunden hatte, durch Abstechen von der leichteren phosphorsäurehaltigen Schlacke getrennt. Als Mischvorrichtung diente ein mit Eisenoxyden ausgefutterter, länglicher, trogartiger, oben überwölbter Behälter von etwa 4 m Länge, welcher sich wie ein Schwinghebel um zwei wagerechte Zapfen in schwingende Bewegung setzen liess; eine Dampfmaschine diente dazu, diese Bewegung hervorzubringen. Das Schwingen wurde 10 Minuten lang wiederholt, wobei das Roheisen mit der zugesetzten Schlacke 60—80 Mal hin und her floss.

Es gelang auf diese Weise, graues Clevelandroheisen mit etwa 1,5 v. H. Phosphor in weisses Roheisen mit durchschnittlich 0,22 v. H. Phosphor und mitunter noch weniger umzuwandeln. Der Siliciumgehalt verringerte sich hierbei von 1,8 v. H. auf 0,05 v. H. Bei Verwendung gerösteter Clevelanderze als Entphosphorungsmaterial betrug der Verbrauch etwa 50 v. H. des Roheisengewichts.

1) Vergleiche Litteratur.

Fast zu derselben Zeit, als Bell in England seine Versuche anstellte und deren Ergebnisse dem Iron and Steel Institute vorlegte, nahm Fr. Krupp in Essen ein Patent auf ein Entphosphorungsverfahren für Roheisen, welches auf ganz ähnlichen Grundsätzen beruhte (1877). Während jedoch Bell den Mangangehalt des Roheisens unberücksichtigt liess, empfahl Krupp ausdrücklich die Verwendung eines etwas manganhaltigen Roheisens. Der Mangangehalt sollte hierbei die doppelte Aufgabe erfüllen, den Kohlenstoff vor Verbrennung zu schützen und die Bildung einer basischen und trotzdem dünnflüssigen Schlacke zu befördern. Als Mischvorrichtung pflegte ein Pernotofen (Seite 162) benutzt zu werden.

Das Kruppsche Entphosphorungsverfahren ist in Essen und auf einigen nordamerikanischen Eisenwerken mehrere Jahre in Anwendung gewesen.[1]) Ueber den Verlauf der Entphosphorung geben folgende von Holley veröffentlichte Analysen Aufschluss:[2])

	C	Si	P	S	Mn	Cu
Roheisen von Eisenhütte Phönix . . .	3,30	0,39	0,74	0,09	2,32	0,14
4 Minuten nach dem Einsetzen . . .	3,27	0,02	0,16	0,02	0,04	0,15
$5^1/_2$ " " " " . . .	3,27	0,01	0,14	0,02	0,12	0,14
7 " " " " . . .	3,32	0,02	0,10	0,03	0,06	0,14

Die erfolgende Schlacke enthielt:

SiO_2	FeO	MnO	Al_2O_3	CaO	P_2O_5
13,0	51,0	16,6	11,6	0,7	6,0

Ilseder Roheisen, welches unter Verwendung von Ilseder Erzen entphosphort wurde, enthielt:

	C	Si	P	Mn
Vor dem Einsetzen	2,50	0,25	2,92	2,61
Nach beendigtem Verfahren	2,40	Sp.	0,80	Sp.

und die entstandene Schlacke bestand aus:

SiO_2	FeO	MnO	Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5
10,40	41,00	19,30	2,00	7,30	0,70	20,00

Die Kosten des Verfahrens betrugen für 1000 kg Roheisen 4 bis 6 M., wenn das Roheisen unmittelbar aus dem Hochofen in den Entphosphorungsofen gebracht werden konnte.

Sehr bald nach Einführung der Entphosphorungsverfahren von Bell und Krupp wurde das in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde beschriebene Thomasverfahren erfunden, welches die Erzeugung eines sehr phosphorarmen Flusseisens aus phosphorreichem Roheisen ermöglicht. Hierdurch verloren jene Verfahren ihre Bedeutung für den Betrieb, noch bevor sie allgemeinere Anwendung gefunden hatten. Für die Wissenschaft besitzen immerhin ihre Ergebnisse eine gewisse Wichtigkeit, da sie auf das Verhalten des Phosphors im Roheisen unter bestimmten Verhältnissen ein deutliches Licht werfen.

1) Auf den Cambria-Eisenwerken noch im Jahre 1893. „Stahl und Eisen" 1893, Seite 1030.

2) Vergleiche Litteratur.

D. Die Entschweflung des Roheisens.

Durch Oxydation ist, wie schon früher mitgetheilt wurde, eine Ausscheidung von Schwefel aus dem Roheisen nicht oder nur in unbedeutendem Maasse erreichbar. Sie wird dagegen möglich, wenn das Roheisen der Einwirkung stark basischer, insbesondere kalkhaltiger Schlacken ausgesetzt wird, wobei der Kohlenstoffgehalt des Eisens in Mitwirkung tritt (Seite 319); oder wenn man dem flüssigen Roheisen ein Metall zusetzt, dessen Verwandtschaft zum Schwefel grösser ist als die des Eisens, welches also das Schwefeleisen zerlegt und dessen eigenes Sulfid im flüssigen Eisen unlöslich oder doch schwer löslich ist. Als ein für diesen Zweck geeignetes Metall hat sich das Mangan erwiesen (Seite 323).

Bei Besprechung des Kupolofenschmelzens wurde erwähnt, dass man beim Schmelzen schwefelreichen Roheisens in gewöhnlichen Kupolöfen durch reichlichen Kalksteinzuschlag im Stande sei, dem Roheisen einen Theil des Schwefelgehaltes zu entziehen und in die Schlacke zu führen. In dem mit kieselsäurehaltigen Baustoffen ausgesetzten Kupolofen wird indess die Bildung stark basischer Schlacken durch den Umstand erschwert, dass die Schlacken Kieselsäure aus dem Ofenfutter auflösen. Mit grösserer Sicherheit darf man auf Erfolg rechnen, wenn man das Schmelzen in einem Kupolofen ausführt, dessen Schmelzraum mit basischen feuerfesten Baustoffen, z. B. Magnesiaziegeln, ausgesetzt ist.

Sehr kalkreiche Schlacken aber sind zugleich sehr strengflüssig; sie werden leichter schmelzbar, wenn man einen Theil des Kalksteines durch Flussspath ersetzt (Seite 198). Nach Rollet, welcher im basischen Kupolofen auf dem Eisenwerke Givors Entschweflungsversuche durch Kalkstein- und Flussspathzusatz durchführte,[1]) kann man zum Zwecke der Entschweflung auf 1000 kg Roheisen etwa 80 kg Kalk und 25 kg Flussspath zuschlagen; ist auch eine theilweise Entphosphorung durch Einwirkung des Windstromes auf das geschmolzene Eisen beabsichtigt, so muss der Kalk- und Flussspathzusatz erhöht werden. Dass auf diese Weise eine starke Entschweflung möglich sei, wird durch nachstehende, von Rollet veröffentlichte Analysen erwiesen:

	C	Si	Mn	S	P
1. Probe					
Vor dem Schmelzen	3,50	0,90	1,30	0,22	0,07
Nach „ „	3,50	0,38	0,81	0,01	0,05
2. Probe					
Vor dem Schmelzen	2,90	0,65	Sp.	0,37	0,35
Nach „ „	3,08	0,06	„	0,01	0,07
3. Probe					
Vor dem Schmelzen	2,55	0,45	„	0,52	1,95
Nach „ „	2,80	0,12	„	0,04	0,41

Wie man sieht, wird neben Schwefel auch Phosphor abgeschieden. Auf einigen französischen Werken soll das Verfahren in Anwendung sein. Der Erfinder ist inzwischen verstorben.

1) Vergleiche Litteratur.

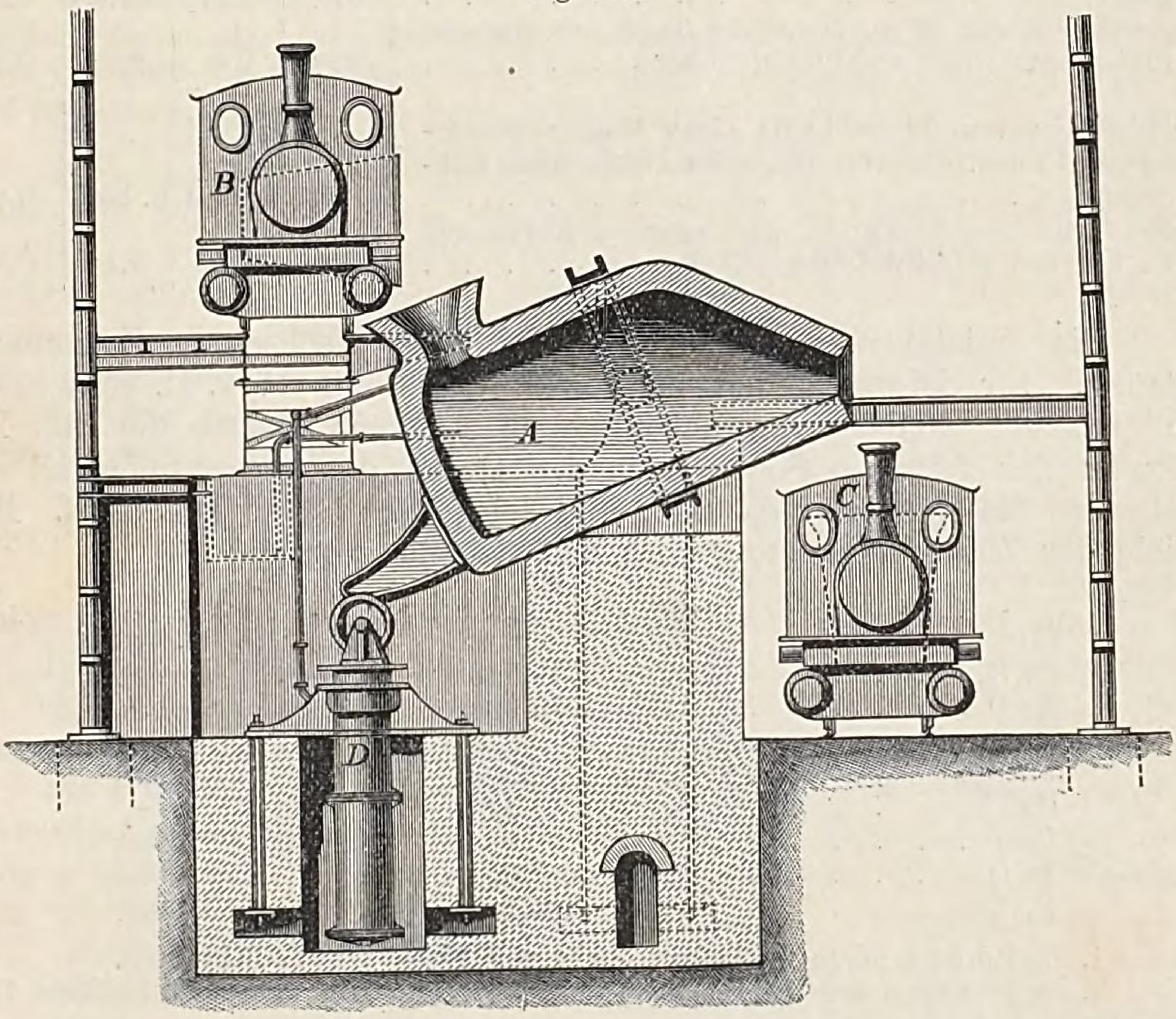
Dass auch eisenoxydulreiche Schlacken fähig sind, schwefelreichem Eisen einen reichlichen Theil seines Schwefelgehaltes zu entziehen, wurde auf Seite 323 erwähnt. Einen ferneren Beleg dafür geben die oben mitgetheilten Analysen über den Verlauf des Kruppschen Entphosphorungsverfahrens. Neben Phosphor wurde auch der anwesende Schwefel fast vollständig ausgeschieden. Leider fehlt die Bestimmung des Schwefelgehalts in der Endschlacke; sie würde ergeben haben, dass der Schwefel von der Schlacke aufgenommen worden war.

Von der Eigenschaft des metallischen Mangans, aus dem Eisen Schwefel abzuscheiden, macht man seit 1890 auf zahlreichen Eisenwerken, zuerst in Hörde, Anwendung im Grossen zur Erlangung eines für die unmittelbare Verarbeitung durch das in der dritten Abtheilung beschriebene Windfrischen (Bessemer- und Thomasverfahren) besser geeigneten Roheisens. Man erreicht dabei einen doppelten Zweck. Für die erfolgreiche Durchführung der erwähnten Frischverfahren ist eine bestimmte Zusammensetzung des zur Verwendung gelangenden Roheisens nothwendig, während der Gang des Hochofens und somit auch die Zusammensetzung des erfolgenden Roheisens Schwankungen unterliegt. Das bei kaltem Gange des Hochofens erblasene Roheisen ist manganärmer und schwefelreicher als das bei heissem Gange erfolgende. Mischt man aber das bei verschiedenen Abstichen, am besten auch aus verschiedenen Hochöfen erfolgte Roheisen, so werden jene Unterschiede um so mehr beseitigt, je grösser die Zahl der Abstiche ist, welche das Roheisen liefern. Tritt hierbei manganarmes und schwefelreiches Eisen in Vermischung mit manganreicherem und schwefelärmerem Eisen, so zeigt sich jene Einwirkung des Mangans: auf der Oberfläche des Metalls scheidet sich eine schwefel- und manganreiche Schlacke ab, und das hinterbleibende Metall wird schwefelärmer. Je höher der Mangangehalt des Roheisengemisches ist, desto deutlicher ist die Wirkung. Als Mischer dient ein Behälter, welcher zur Aufnahme von mindestens 80 t, häufiger 100 bis 180 t Roheisen eingerichtet zu sein pflegt und beweglich gemacht ist, um die Mischung zu ermöglichen. In der Regel sind zwei Mischer vorhanden, damit der Betrieb keine Unterbrechung zu erfahren braucht, wenn der eine der Ausbesserung bedarf. Die üblichste Form dieser Mischer ist in Fig. 202 dargestellt. *A* ist der Behälter zur Aufnahme des Roheisens, mit zwei Zapfen in Lagern ruhend und mit Schamotteziegeln oder besser mit Magnesitziegeln ausgesetzt, welche letztere der zerstörenden Wirkung der entstehenden Schlacke gegenüber sich als haltbarer erwiesen haben. *B* ist die auf einer Hochbahn laufende, vom Hochofen kommende Lokomotive, welche das in einer Pfanne befindliche Roheisen zuführt; durch Kippen der Pfanne findet die Entleerung in den Behälter statt, wie in der Abbildung angedeutet ist. Ist die Anlage einer Hochbahn nicht thunlich, so dient ein, gewöhnlich durch Wasserdruck betriebener, Aufzug zur Beförderung des Pfannenwagens auf die oben angebrachte Bühne. *C* ist eine zweite Lokomotive mit Pfanne, welche das entschwefelte Roheisen aufnimmt und nach der Thomashütte befördert. Das Mischen des Roheisens und das Ausgiessen in die Pfanne der Lokomotive *C* erfolgt mit Hülfe des Wasserdruckcylinders *D* in der aus der Abbildung erkennbaren Art und Weise. Da von dem Inhalte

des Mischers stets nur ein Theil mit einem Male zur Verarbeitung gelangt und inzwischen wiederkehrend frisches Roheisen nachgefüllt wird, bleibt die Zusammensetzung ziemlich gleichmässig. Die bedeutende Menge des in dem Behälter anwesenden Eisens verzögert zugleich die Abkühlung, so dass die Temperatur bei ununterbrochener Benutzung beständig und das Roheisen ausreichend flüssig bleibt. Hat der Mischer kalt gelegen, so wird er zunächst durch ein Koksfeuer oder in anderer Weise stark erhitzt.

Die stattfindende Entschweflung ist, sofern der Mangangehalt des Roheisens nicht unter 1,5 v. H. sinkt, erheblich. Da das Ein- und

Fig. 202.



Ausgiessen stattfindet, ohne dass Entleerung des Mischgefässes eintritt, kann man ein Bild der eintretenden Veränderungen nur erhalten, wenn man die durchschnittliche Zusammensetzung einer grösseren Zahl Proben des eingegossenen Roheisens der durchschnittlichen Zusammensetzung einer ungefähr gleich grossen Zahl Proben des in derselben Zeit ausgegossenen Roheisens gegenüberstellt. Die auf Seite 662 stehenden Ziffern sind in dieser Weise ermittelt worden.

Je niedriger der Mangangehalt des aus dem Mischer kommenden Roheisens ist, desto höher ist sein Schwefelgehalt, wie die Ziffern erkennen lassen. Bei 1 v. H. Mangan im Roheisen ist der Schwefelgehalt durchschnittlich 0,09 v. H.[1])

1) „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 800. Sonstige, diese Angabe bestätigende Analysen: „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 386.

	Silicium	Phosphor	Mangan	Schwefel
Mittelwerthe von 15 an einem Tage genommenen Proben des vom Hochofen kommenden Roheisens verschiedener Abstiche[1]	0,24	2,22	2,70	0,137
Mittelwerthe von 15 an demselben Tage genommenen Proben des entschwefelten Roheisens	0,23	2,13	2,42	0,038
Mittelwerthe von 13 Proben des vom Hochofen kommenden Roheisens verschiedener Abstiche an einem Tage[1]	0,31	2,16	2,16 (?)	0,111
Mittelwerthe von 14 an demselben Tage genommenen Proben des entschwefelten Roheisens	0,27	2,02	2,16	0,040
Mittelwerthe von 23 im Laufe eines Monats genommenen Proben des vom Hochofen kommenden Roheisens[2]	n. best.	n. best.	n. best.	0,163
Mittelwerthe von ebensoviel gleichzeitig genommenen Proben des entschwefelten Roheisens	0,22	2,80	1,46	0,06

Die entstehende Schlacke besitzt eine wechselnde Zusammensetzung. Ihr Schwefelgehalt kann zwischen 2 bis 17 v. H. schwanken und ist zum Theile davon abhängig, in welchem Maasse die Luft Zutritt zu der flüssigen Schlacke fand. Durch den Sauerstoffgehalt der Luft wird Mangansulfür oxydirt, und schweflige Säure entweicht. Beispiele der Zusammensetzung sind nachstehend gegeben:

	1.	2.	3.
SiO_2	18,90	35,70	n. best.
Al_2O_3	5,00	n. best.	2,46
MnO	20,23	36,38	45,22
MnS	28,01	14,11	19,02
FeO	25,46	5,01	6,78
CaS	3,53	—	—
CaO	—	n. best.	2,58
MgO	0,43	„ „	0,19
P_2O_5	n. best.	„ „	0,31

1. In Hörde erfolgte Schlacke („Stahl und Eisen" 1891, Seite 801).
2. In Hayingen erfolgte Schlacke (Journal of the Iron and Steel Institute 1892 I, p. 112).
3. In Oberhausen erfolgte Schlacke. Wie 2.

Litteratur.

a) Einzelne Werke.

Ueber Schmelzöfen für Roheisen.

E. F. Dürre, Handbuch des Eisengiessereibetriebes. 3. Auflage (Leipzig 1890), Bd. 1, S. 475—654.

A. Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgiesserei. 2. Auflage (Weimar 1892), S. 78—149).

1) Persönliche Mittheilung.
2) Journal of the Iron and Steel Institute 1891, II, p. 80.

Ueber die älteren Verfahren zur Reinigung des Roheisens.

G. Wedding, Die Darstellung des schmiedbaren Eisens. Braunschweig 1875, S. 24.

b) Abhandlungen.

Ueber Schmelzöfen.

C. Steffen, Der Piatsche Tiegelschmelzofen. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 189.

H. Wedding, Neuere Fortschritte in der Einrichtung von Metall-Tiegelschmelzöfen. Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1898, S. 190.

Eisenbach, Baumanns aufkippbarer Vorwärm- und Tiegelofen. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 547.

Wagner, Ueber den Bau von Gussflammöfen und deren Betrieb. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1857, S. 115.

K. Wittgenstein und A. Kurzwernhart, Ueber die Fabrikation von Stahlschienen mit Braunkohlen in Teplitz (Siemens-Flammofen zum Roheisenschmelzen). „Stahl und Eisen“ 1883, S. 211.

F. Fischer, Ueber Kupolöfen. Dinglers polyt. Journal, Bd. 231, S. 38.

A. Ledebur, Ueber Kupolöfen. Civilingenieur, Bd. 13, Heft 8.

G. Ahlemeyer, Der Ibrüggersche Kupolofen. Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Bd. 9, S. 231.

H. Frey, Der Faulersche Kupolofen. Zeitschrift des berg- u. hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1881, S. 321.

Amerikanische Kupolöfen für Bessemerhütten. Dinglers polyt. Journal, Bd. 241, S. 296 (aus Engineering 1880, S. 592).

A. Ledebur, Kupolofen mit Wasserkühlung. Berg- und hüttenm. Ztg. 1878, S. 150.

A. Ledebur, Das Kupolofenschmelzen in alter und neuer Zeit. „Stahl und Eisen“ 1885, S. 121.

A. Ledebur, Ueber die Schmelzöfen der Eisengiessereien. Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Bd. 19 (1886), S. 166.

O. Gmelin, Ein neuer Kupolofen mit Wasserkühlung. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 526; „Stahl und Eisen“ 1882, S. 306.

Beckert, Kupolofen mit Dampfstrahl. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 399, 557.

A. Gouvy, The construction of the cupolas. Engineering and Mining Journal, vol. 47, p. 161.

Ueber Reinigung des Roheisens.

L. Bell, On the separation of carbon, silicon, sulphur and phosphorus in the refining and puddling furnaces. Journal of the Iron and Steel Institute 1877, p. 108, 322; deutsch bearbeitet in der Zeitschrift des berg- u. hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1877, S. 385.

L. Bell, On the separation of phosphorus from pig-iron. Journal of the Iron and Steel Institute 1878, p. 17.

J. E. Stead, Phosphor und Eisen. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1878, S. 67 (aus Iron.)

A. Holley, Washing phosphoric pig-iron for the open-hearth process at Krupps works. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. 8, p. 156; deutsch in der Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1879, S. 413.

C. Petersen, Die Entphosphorung des Roheisens nach Krupps Patent. Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1880, S. 36.

P. Tunner, Der Hamoirprocess. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1878, S. 1.

A. Rollet, Le cubilot comme appareil épurateur des fontes. Bulletin de la société de l'industrie minérale 1882, p. 879; daraus in „Stahl und Eisen" 1883, S. 305.

A. Rollet, Ueber die Reinigung des Eisens von Phosphor und Schwefel. „Stahl und Eisen" 1890, S. 516 (aus The Journal of the Iron and Steel Institute 1890 I, p. 154).

P. Tunner, Zur Abscheidung des Schwefels aus flüssigem Roheisen. Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1891, S. 205.

J. Massanez, On the elimination of sulphur from pig-iron. Journal of the Iron and Steel Institute 1891 II, p. 76.

G. Hilgenstock, Ueber das Schwefelabscheidungs-Verfahren. „Stahl und Eisen" 1891, S. 798.

G. Hilgenstock, Neuere Methoden zur Entschweflung des Roheisens. „Stahl und Eisen" 1893, S. 455.

A. Knaff, Betriebsergebnisse im Roheisenmischer. „Stahl und Eisen" 1896, S. 100.

Kintzlé, Der Thomasprocess (enthält Mittheilungen über Roheisenmischer). „Stahl und Eisen" 1897, S. 381.

Halle a. S., Buchdruckerei des Waisenhauses.

Bayerische
Staatsbibliothek
München